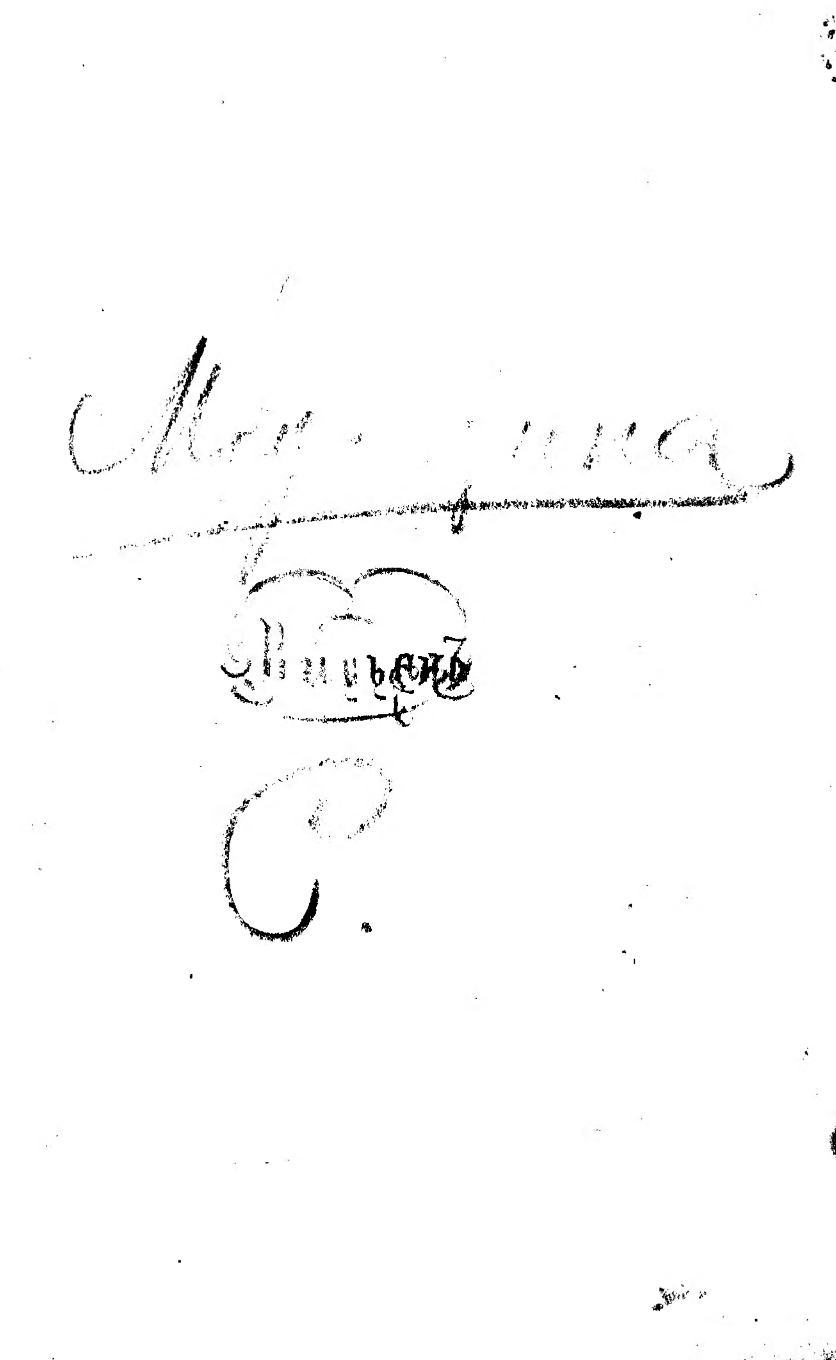


О ЖИВОТНОМЪ ЭЛЕКТРИЧЕСТВѢ.



И. Сѣченова,

Профессора С.-Петербургской Императорской Медико-Хирургической Академіи.

(ИЗДАНІЕ ВОЕННО-МЕДИЦИНСКАГО ДЕПАРТАМЕНТА.)

Съ 75 политипажными рисунками.

САНКТПЕТЕРБУРГЪ.

ПЕЧАТАНО ВЪ ТИПОГРАФІИ ЯКОВА ТРЕЯ.

1862.

ПЕЧАТАТЬ ПОЗВОЛЯЕТСЯ,

съ тѣмъ, чтобы по отпечатанiи представлено было въ Цензурный Комитетъ узаконенное число экземпляровъ. С.-Петербургъ, января 25 дня 1862 г.

Ценсоръ *Обертъ*.

ПРЕДИСЛОВІЕ ОТЪ АВТОРА.

Поводомъ къ обнародованію лекцій о животномъ электричествѣ, читанныхъ мною гг. врачамъ, служило главнѣйшимъ образомъ то обстоятельство, что до сихъ поръ не только въ русской, но и въ иностранной литературѣ не существуетъ сочиненія, въ которомъ было бы изложено это ученіе въ его современномъ состояніи какъ съ догматической, такъ и съ методологической стороны. Учебники физіологіи, по самому смыслу ихъ, занимаются почти исключительно первою; а между тѣмъ для всякаго, желающаго изучить предметъ ближе, нужно конечно познакомиться и съ пріемами изслѣдованія. Имѣя во время курса слушателями гг. врачей, знакомыхъ съ догматическою стороною ученія о животномъ электричествѣ, я имѣлъ право обращать ихъ вниманіе преимущественно на употребляемые въ этомъ отдѣлѣ физіологіи способы изслѣдованія; теперь же, публикуя лекціи, я желалъ бы сдѣлать ихъ полезными и для начинающаго; поэтому разработалъ и догматическую сторону вопроса. Отсюда несовершенное сходство между читаннымъ прежде изустно и писаннымъ теперь. Кромѣ того со времени окончанія лекцій появились новыя изслѣдованія, представляющія нѣкоторые изъ частныхъ вопросовъ въ новомъ свѣтѣ: ихъ я не могъ не принять къ свѣдѣнію. Слѣдовательно вообще писанныя лекціи вышли полнѣе изустныхъ.

Имя, подъ которымъ онѣ появляются въ свѣтъ, требуетъ также объясненія. Подъ словомъ «животное электричество» въ нихъ соединены двѣ группы явленій: электродинамическая дѣятельность нервовъ и мышцъ (ученіе о животномъ электричествѣ въ тѣсномъ смыслѣ) и явленія электрическаго раздраженія этихъ органовъ. Дю-Буа-Реймонъ въ своемъ знаменитомъ сочиненіи о животномъ электричествѣ старался, какъ извѣстно, провести

мысль о причинной связи между обоими рядами явленій; новѣйшія же изслѣдованія пошатнули ее; и потому въ настоящее время возможна точка зрѣнія, съ которой можетъ казаться непозволительнымъ соединять ихъ подъ однимъ общимъ именемъ. Я сдѣлалъ это однако, и на томъ основаніи, что пока будущія изслѣдованія положительно не докажутъ отсутствія связи между электродинамическою и физіологическою дѣятельностью мышцъ и нервовъ, до тѣхъ поръ точкѣ зрѣнія дю-Буа, какъ болѣе широкой и плодотворной, должно быть отдано преимущество. Всякій убѣдится однако изъ текста, что изъ за поддержанія мысли дю-Буа я не насиловалъ фактовъ. Вліяніе ея отразилось развѣ на объемѣ, въ которомъ изложено ученіе о возбужденіи мышцъ и нервовъ къ дѣятельности: сюда не вошло именно описаніе раздраженія этихъ органовъ другими дѣятелями, кромѣ электрическаго тока. Опущеніе это, къ счастію, неважно, если принять въ соображеніе современное положеніе вопроса о химическомъ и механическомъ раздраженіи нервовъ и мышцъ. При изученіи возбужденія послѣдняго органа я не вдавался въ подробное описаніе процесса мышечнаго сокращенія на томъ основаніи, что вопросъ объ отношеніи формы послѣдняго къ формѣ раздраженія до сихъ поръ еще очень мало разработанъ. А мышечное сокращеніе касается круга нашего изслѣдованія только этою стороною, другими она относится въ отдѣлъ животнаго движенія.

Что касается наконецъ до источниковъ при составленіи лекцій, то всякій знакомый съ дѣломъ убѣдится конечно изъ содержанія ихъ, что я пользовался всѣми замѣчательными монографіями (или рефератами объ нихъ) по этому отдѣлу, вышедшими въ свѣтъ со времени обнародованія дю-Буа первыхъ двухъ томовъ его сочиненія о животномъ электричествѣ. Въ заключеніе позволяю себѣ думать, что предлагаемое сочиненіе не есть пассивная передача всего сдѣланнаго для животнаго электричества въ новѣйшее время, а плодъ самостоятельнаго изученія этого отдѣла физіологіи.

ОГЛАВЛЕНІЕ ЛЕКЦІЙ.

СТРАН.

О ЖИВОТНОМЪ ЭЛЕКТРИЧЕСТВѢ.



I.

Историческое обозрѣнiе ученiя о животномъ электричествѣ со времени Гальвани до работъ Маттеуччи и дю-Буа-Реймона.

М. Г.

Прежде чѣмъ начну изложенiе предмета, означеннаго въ объявленiи о курсѣ, считаю нужнымъ сказать нѣсколько словъ объ общемъ значенiи въ физiологiи тѣхъ вопросовъ, которые войдутъ въ составъ нашихъ бесѣдъ, и о способѣ изложенiя самаго предмета. Этимъ, я надѣюсь, опредѣлится общая точка зрѣнiя на наши бесѣды и устранится возможность недоразумѣнiй, обманутыхъ ожиданiй и проч. Было время—и оно прошло еще очень недавно—когда главнѣйшая, почти исключительная, задача электро-физiологiи заключалась въ томъ, чтобы доказать тождество такъ называемой нервной силы съ электрическою. Даже дю-Буа-Реймонъ, во время обнародованiя начала своего знаменитаго сочиненiя о животномъ электричествѣ, находился еще подъ влiянiемъ этой мысли. Въ настоящее время однако, когда ученiе объ электрическомъ раздраженiи нервовъ и мышцъ такъ быстро двигается впередъ, цѣль эта становится уже узкою, и потому второстепенною: теперь главная задача электро-физiологiи заключается въ познанiи того механическаго плана, который лежитъ въ основѣ устройства мышцы и нерва. Рѣшенiе этой задачи, конечно, одной изъ главнѣйшихъ, если не самой главной, въ физiологiи мышечной и нервной системъ

лежитъ, къ сожалѣнію, еще въ далекомъ будущемъ. Наука пока выяснила себѣ лишь путь для достиженія этой цѣли, да пріобрѣла нѣсколько намековъ на ту тонкую организацію мышцы и нерва, которою обусловливается ихъ физіологическая дѣятельность. Тѣмъ не менѣе всякій изъ насъ, знакомый съ трудностями физіологическаго изслѣдованія, встрѣтитъ, конечно, радушно этотъ богатый будущимъ зародышъ новаго ученія, особенно если вспомнитъ, что истинно-научная разработка относящихся сюда вопросовъ началась, можно сказать, на нашей памяти. Я, съ своей стороны, приложу особенное стараніе къ тому, чтобы провести высказанную основную мысль электро-физіологіи черезъ весь курсъ, и буду совершенно счастливъ, если мнѣ въ то же время удастся убѣдить моихъ почтенныхъ слушателей въ важности строгаго физическаго метода для рѣшенія разбираемыхъ нами основныхъ вопросовъ. Съ послѣднею цѣлью, я, при изложеніи фактической стороны ученія, буду больше всего налегать на способы изслѣдованія, т. е. постараюсь опредѣлить смыслъ каждаго, повидимому. мелочнаго пріема. Для этого мнѣ нужно будетъ вдаваться иногда въ область физики, и, конечно, ради ясности, мнѣ простятся такого рода отступленія. Всѣ опыты будутъ дѣлаться на вашихъ глазахъ, и я увѣренъ, что, при такомъ способѣ изложенія, тотъ изъ слушателей, который не производилъ ихъ еще самъ, получитъ на это полную возможность.

Приступаю теперь къ историческому обзору ученія о животномъ электричествѣ.

Начало его выразилось мыслью, что сила, дѣйствующая въ нервахъ, тождественна съ электрическою. Родоначальникъ этой мысли есть, по розысканіямъ дю-Буа-Реймона, лейпцигскій профессоръ Гаузенъ, умершій въ 1743 г. У него, равно какъ и у слѣдовавшихъ за нимъ (де-Соважъ, des Hais, Laghi) мысль эта была однако очень шатка, потому что составилась на основаніи очень поверхностныхъ аналогій между двумя агентами, и потому экспериментаторамъ, какъ Галлеръ и Фонтана, не трудно было опровергнуть это мнѣніе, хотя первый изъ нихъ, отвергая электричество, и мирился на туманномъ представленіи о животномъ духѣ въ нервахъ. Мысль о тождествѣ нервнаго начала съ электричествомъ однако не уничтожилась, и когда въ концѣ послѣдняго столѣтія Уэльшъ и Кэвендишъ доказали электрическую натуру ударовъ

электрическихъ рыбъ, она получила въ этомъ открытіи такую крѣпкую опору, что пережила впослѣдствіи даже удары великаго ума Вольты, убившаго ее, казалось, окончательно.

Гальвани, отецъ нашего ученія, былъ изъ числа вѣрующихъ въ животное электричество. Онъ явился въ то время, когда, сверхъ открытія Уэльша и Кэвендиша, было уже извѣстно дѣйствіе электрическихъ разрядовъ на сокращеніе мышцъ. Дѣятельность Гальвани начинается описаніемъ опыта, произведеннаго имъ въ 1780 г. и состоявшаго въ слѣдующемъ: вблизи кондуктора электрической машины висѣла въ воздухѣ задняя часть лягушки, обнаженная отъ кожи; когда машина приводилась въ движеніе, то прикосновеніе къ мышцамъ лягушки вызывало въ нихъ каждый разъ сокращеніе. Въ этомъ опытѣ Гальвани удивило то обстоятельство, что лягушечій препаратъ не находился въ соприкосновеніи съ кондукторомъ машины, и хотя его удивленіе было уже и въ то время неосновательно, потому что за годъ до того объяснено было разрушительное дѣйствіе молніи на предметы, сообщенные съ землею, но далеко находящіеся отъ мѣста рожденія электричества, тѣмъ не менѣе мы должны благодарить судьбу за это удивленіе, потому что оно повело Гальвани къ изученію вліянія воздушнаго электричества на мышечное сокращеніе; плодомъ же послѣдняго былъ, какъ извѣстно, знаменитый опытъ, родившій ученіе о гальванизмѣ или динамическомъ электричествѣ.

Вотъ этотъ опытъ: въ садовой террасѣ была прикрѣплена, къ желѣзной рѣшеткѣ, посредствомъ нитки и желѣзнаго же крючка (впослѣдствіи Гальвани сталъ говорить о мѣдномъ, но это потому, что при этомъ условіи опытъ легчѣ удается), проходившаго черезъ нижній отрѣзокъ спиннаго мозга, задняя часть лягушки такимъ образомъ, что ноги находились въ соприкосновеніи съ рѣшеткой. Гальвани слѣдилъ за тѣмъ, будетъ ли происходить содроганіе мышцъ при разрядахъ воздушнаго электричества, и замѣтилъ съ изумленіемъ, что оно происходитъ не только при этомъ условіи, но и всякій разъ, когда крючекъ приходитъ въ металлическое соприкосновеніе съ рѣшеткой. Болонскому профессору принадлежитъ, безспорно, важная заслуга, что въ этомъ опытѣ онъ отличилъ существенное отъ случайнаго и прямо перешелъ отъ него къ изученію мышечнаго сокращенія отъ наложенія на нервъ и мышцу дуги изъ одного и того же или двухъ различныхъ

металловъ. Въ третьей части его знаменитаго комментарія «De viribus electricitatis in motu musculari commentarius» находится уже рядъ свѣдующихъ фактовъ: только дуги изъ хорошихъ проводниковъ электричества (металловъ) производятъ сокращеніе; сокращеніе происходитъ вѣрнѣе, если концы дугъ изъ разнородныхъ металловъ, или если подъ одинъ изъ концовъ однородной дуги подложена пластинка изъ другаго металла (металлическая арматура мышцы или нерва); опытъ одинаково удается, держать ли дугу въ рукѣ, или изолировать ее; сокращеніе происходитъ и подъ водою, но не подъ масломъ; наконецъ сокращеніе происходитъ и въ томъ случаѣ, если оба конца дуги находятся въ соприкосновеніи съ однимъ только нервомъ или съ одной только мышцей. Всѣ эти опыты Гальвани повторилъ на мышцахъ и нервахъ лягушки, птицъ и млекопитающихъ. Мы же ихъ повторимъ на голени лягушки, отдѣленной отъ тѣла вмѣстѣ съ сѣдалищнымъ нервомъ. Дугою будутъ намъ служить два куска цинковой и мѣдной проволоки, арматурой же при опытахъ съ наложеніемъ однородной дуги — тонкіе оловянные листочки. При этомъ я долженъ замѣтить, что наложеніе дуги изъ одного металла безъ арматуры не вызываетъ мышечныхъ сокращеній въ здѣшнихъ (петербургскихъ) лягушкахъ, что̀ указываетъ, конечно, лишь на малую раздражительность этихъ животныхъ въ сравненіи съ итальянскими. (Фиг. 1-я [1]).

Отъ ряда этихъ фактовъ Гальвани перешелъ къ объясненію ихъ, и такимъ образомъ явилась его теорія мышечнаго сокращенія. Главные пункты этой теоріи суть слѣдующіе: мышца съ нервомъ представляютъ лейденскую банку; поверхность мышцы наэлектризована отрицательно [2]), продолженіе внутренней поверхности, наэлектризованной положительно — кондукторъ лейденской банки — есть нервъ. Накладываніе металлической дуги на нервъ и

---

[1]) Шематическая фигура *ACB* будетъ всегда выражать мышцу съ ея нервомъ; въ ней *AC* есть, конечно, нервъ, *BC* мышца. Поверхъ фигуры показано наложеніе однородной дуги съ арматурой *k* на мышцу и нервъ и на одинъ нервъ. Съ нижней стороны фигуры наложеніе дугъ изъ разныхъ металловъ (мѣди и цинка). Сокращеніе происходитъ каждый разъ, когда концы, обозначенные буквами *ц* и *м*, приходятъ во взаимное соприкосновеніе.

[2]) Я не упоминаю объ опытахъ Гальвани, имѣющихъ цѣлью доказать это, потому что опыты эти не имѣютъ смысла.

мышцу вызываетъ движеніе электричества — разрядъ; положительное электричество идетъ изнутри мышцы черезъ нервъ на ея внѣшнюю поверхность и при этомъ раздражаетъ мышечныя волокна; отсюда сокращеніе. Мѣсто рожденія электричества не есть самая мышца, а мозгъ; отсюда по нервамъ, наполненнымъ жидкостью, легко проводящею электричество, оно идетъ внутрь мышцы и тамъ скопляется. Для того же, чтобы на пути по нерву электричество не разсѣевалось въ стороны, Гальвани придалъ нерву масляную оболочку. Электричество, родящееся въ мозгу, онъ назвалъ, конечно, животнымъ, и такимъ образомъ для Гальвани сбывались старыя мечты о тождествѣ нервнаго начала съ электричествомъ.

Теорія эта была очень слаба даже для того времени: не говоря уже о томъ, что она вводила нѣсколько совершенно произвольныхъ воззрѣній на анатомическое устройство мышцы и нерва и не давала отчета въ томъ, почему наложеніе разнородной дуги легче вызываетъ сокращеніе, чѣмъ однородной, теорія эта сильно грѣшила противъ фактовъ, найденныхъ самимъ же Гальвани, именно противъ мышечнаго сокращенія отъ наложенія дуги на одинъ только нервъ или на одну только мышцу. Тѣмъ не менѣе новизна и оригинальность фактовъ, обнародованныхъ Гальвани, была такъ поразительна для современниковъ, что теоріи Гальвани подчинился въ началѣ даже великій умъ Вольты.

Онъ началъ изучать явленія мышечнаго сокращенія опредѣленіемъ чувствительности лягушечьяго препарата (заднія конечности съ тазомъ и нижней частью позвоночника) къ электрическимъ разрядамъ. Потомъ старался найдти электроскопическую мѣру напряженія электричества на поверхности мышцы и опредѣлить знакъ его. Повторяя далѣе опыты Гальвани, онъ наткнулся, какъ говоритъ, самостоятельно на сокращеніе мышцы отъ наложенія дуги на одинъ только нервъ, и этого было, конечно, достаточно, чтобы теорія мышечной лейденской банки для него пала. Съ этой минуты наложеніе металлической дуги на нервъ есть для него только новое средство возбуждать дѣятельность нервной силы. Отъ его зоркаго ума не ускользаетъ, конечно, и то обстоятельство, что разнородная дуга вызываетъ мышечное сокращеніе легче, чѣмъ однородная, и онъ приступаетъ къ опытамъ съ наложеніемъ разнородной дуги на живую мышцу человѣческаго тѣла. Языкъ

кажется ему очень удобнымъ для этихъ опытовъ органомъ. Онъ кладетъ себѣ подъ языкъ оловянную пластинку, поверхъ языка серебряную ложку и подходитъ къ зеркалу, чтобы видѣть сокращеніе языка. Смыкаетъ свободные концы металловъ и вмѣсто мгновеннаго сокращенія получаетъ постоянное вкусовое ощущеніе, длящееся все время, пока металлы сомкнуты. Опытъ этотъ еще больше утверждаетъ Вольту въ мысли, что наложеніе разнородной дуги есть лишь новое средство къ возбужденію нервной дѣятельности, и онъ уже подозрѣваетъ развитіе этого возбудителя въ соприкосновеніи металловъ между собою. Это случилось въ томъ же 1792 году, въ началѣ котораго Вольта былъ еще приверженцемъ идей Гальвани. Недолго задумался онъ и надъ сокращеніемъ отъ однородной дуги: въ томъ же году въ его письмахъ къ Кавалло проглядываетъ уже мысль, что однородность концовъ металлической дуги можетъ быть лишь кажущаяся — достаточно разницы въ полировкѣ, твердости и пр., чтобы быть имъ разнородными. Тѣмъ не менѣе опытовъ въ подтвержденіе своихъ словъ онъ тогда еще не сдѣлалъ. Въ теченіе слѣдующаго года у него выработалось убѣжденіе, что въ произведеніи силы, вызывающей мышечное сокращеніе, участвуетъ, кромѣ соприкосновенія разнородныхъ металловъ между собою, соприкосновеніе ихъ съ жидкостью, пропитывающею нервы и мышцы, и онъ уже предлагаетъ слово металлическое электричество въ замѣнъ животнаго, какъ болѣе соотвѣтствующее дѣлу. Въ своемъ мнѣніи, что однородность концовъ дугъ можетъ быть лишь кажущаяся, онъ уже укрѣпился слѣдующими опытами: если взять желѣзную дугу, не дающую сокращенія при ея наложеніи, и одинъ изъ концовъ согрѣть въ кипяткѣ, потомъ, быстро охладивши, приложить къ нерву, то получается сокращеніе. То же бываетъ съ свинцовою дугою, не дававшею сокращенія, если одинъ изъ концовъ ея срѣзать, т. е. обновить на немъ металлическую поверхность. Сокращеніе можно получить даже на нашихъ лягушкахъ, если одинъ изъ концовъ желѣзной дуги закалить, т. е., накаливши до-красна, быстро охладить опущеніемъ въ воду.

Здѣсь въ защиту Гальвани выступаетъ на сцену племянникъ его, Альдини. Думая устранить возраженіе Вольты противъ однородности дугъ изъ твердыхъ металловъ, онъ придумалъ опытъ, въ которомъ дуга, накладываемая на нервъ и мышцу, состоитъ

изъ очищенной ртути. Въ чашку съ ртутью онъ ставитъ на подставкѣ другую чашку, наполненную тѣмъ же металломъ. Лягушечій препаратъ отрѣзкомъ спиннаго мозга касается металлической поверхности въ верхней чашкѣ, а ногами въ нижней. Въ днѣ верхней чашки сдѣлано отверстіе, которое можетъ закрываться и открываться; при послѣднемъ происходитъ вытеченіе ртути непрерывною струею и слѣдовательно металлическое замыканіе точекъ нижнихъ конечностей съ точками спиннаго мозга. При этомъ происходитъ, по словамъ Альдини, сокращеніе. Опытъ этотъ, какъ легко было ожидать, не разубѣдилъ Вольту въ его мнѣніи, потому что изъ однородности двухъ металлическихъ массъ не слѣдуетъ еще однородности ихъ свободныхъ поверхностей, а послѣднія играютъ въ опытѣ Альдини, конечно, роль; и потому отвѣтомъ со стороны Вольты было приглашеніе произвести мышечное сокращеніе безъ всякаго участія металловъ. Этотъ вызовъ имѣлъ громадное значеніе въ исторіи нашего ученія. Въ 1793 г. вышло анонимное сочиненіе Гальвани «Dell uso e dell' attività dell' arco conduttore nei contrazioni de' muscoli», въ которомъ, между прочимъ, описанъ способъ вызывать мышечныя сокращенія въ лягушкѣ безъ помощи металловъ. Это были первые опыты, которые, какъ увидимъ впослѣдствіи, дѣйствительно доказали существованіе электрическихъ токовъ въ мышцахъ. Формъ этихъ опытовъ есть нѣсколько, но самая изящная заключается въ опрокидываніи отсепарованнаго изъ бедра лягушки сѣдалищнаго нерва на заднюю поверхность обнаженной икряной мышцы. Опытъ этотъ удается и на нашихъ лягушкахъ, если нервъ отсепарованъ вмѣстѣ съ его сплетеніемъ и касается верхнимъ концомъ мѣста перехода мяса въ сухую жилу; въ первыя секунды по отсепарованіи нерва опытъ обыкновенно не удается, но спустя напр. $^1/_2{}'$—$1'$ уже является сокращеніе при сообщеніи нерва съ мышцей. Какъ бы предчувствуя возраженіе Вольты, Гальвани старается устранить всякую мысль о происхожденіи мышечныхъ сокращеній въ этихъ опытахъ отъ механическаго сотрясенія нерва. Для этого отсепарованный нервъ онъ бросаетъ на стекло, мраморъ, сѣру (изоляторы), и не получаетъ сокращеній, тоже если нервъ падаетъ на мышцу, покрытую слоемъ масла или лака. Вольта былъ озадаченъ этими опытами и возраженія его, какъ онъ самъ послѣ признается, были очень слабы.

II.

Продолженіе историческаго обозрѣнія.—Современный способъ изслѣдованія животныхъ частей относительно ихъ электро-динамическихъ свойствъ.—Мультипликаторъ дю-Буа-Реймона.

М. Г.

Прошлый разъ мы остановились на моментѣ чрезвычайно важномъ въ исторіи животнаго электричества. Гальвани открылъ способъ производить мышечное сокращеніе безъ участія металловъ и устранилъ мысль о происхожденіи его отъ механическаго сотрясенія нерва. Тѣмъ не менѣе Вольта, озадаченный этими опытами, производитъ здѣсь сокращеніе отъ сотрясенія нерва. Онъ говоритъ: какъ бы осторожно ни прикладывался нервъ къ мышцѣ, во всякомъ случаѣ при сближеніи ихъ влажныхъ поверхностей являются капиллярныя силы, которыми нервъ быстро притягивается къ мышцѣ, и слѣдовательно сотрясается. Вы видите, что Вольта былъ въ большомъ затрудненіи — онъ обошелъ молчаніемъ тѣ опыты Гальвани, которые ясно говорятъ противъ его возраженій, Это была минута торжества для болонской школы; но она длилась недолго. Въ то время Вольтой былъ уже составленъ электромоторный рядъ проводниковъ 1-го класса и онъ уже высказалъ убѣжденіе, что электрическій токъ родится отъ соприкосновенія двухъ проводниковъ 1-го класса съ жидкостью (проводникомъ 2-го). Замѣтивъ, что опытъ мышечнаго сокращенія безъ металловъ удается лишь въ томъ случаѣ, если нервъ касается мѣста перехода мышечнаго мяса въ сухую жилу, онъ объяснилъ сокращеніе такъ: для развитія электрическаго тока нужны три вещества; въ опытахъ Гальвани два изъ нихъ суть мясо и сухая жила, третье есть кровь, лимфа, которыми всегда смочена поверхность мышцъ; къ этому мѣсту прикасается нервъ; ясно, что развивающійся здѣсь токъ дѣйствуетъ на него и производитъ мышечное сокращеніе. Въ подкрѣпленіе своей мысли онъ приводитъ и опыты. Если обмыть лягушечій препаратъ нѣсколько разъ водою, то сокращенія нѣтъ. Если препаратъ мало чувствителенъ и при обыкновенныхъ условіяхъ сокращенія его слабы, то легко усилить ихъ: стоитъ только смочить мѣсто, куда прикладывается нервъ, слюною, кровью, мочею, щелочью, кислотою и проч. Мысль эта бьетъ всякому въ глаза своей талантливостью, но она была

гипотетична: въ основѣ ея лежитъ произвольное для того времени положеніе, что и проводники 2-го класса, къ которымъ, конечно, должны относиться мясо и сухая жила, какъ вещества, пропитанныя водяными растворами, могутъ своей комбинаціей родить электрическій токъ. Тѣмъ не менѣе всякій, конечно, согласится, что въ этой мысли лежитъ задатокъ будущаго здраваго воззрѣнія на электрическія явленія животнаго тѣла, и въ этомъ заключается оправданіе гипотезы Вольты; не говоря уже о томъ, что ею сводятся два, повидимому совершенно разныя, явленія (сокращеніе безъ металловъ и отъ наложенія на нервъ разнородной металлической дуги) на одну и ту же въ сущности физическую причину.

Здѣсь между Вольтой и Гальвани становится Гумбольдтъ. Дю-Буа-Реймонъ старается придать изслѣдованіямъ послѣдняго значеніе работъ, спасшихъ животное электричество; но это едва ли справедливо. Гумбольдтъ находитъ, что сокращеніе мышцы происходитъ не только въ случаѣ соприкосновенія нерва съ мѣстомъ перехода мяса въ сухую жилу, но и при соприкасаніи только съ первымъ. Вольта этимъ, конечно, не убитъ: на поверхности мышцы могутъ быть случайныя электрическія противоположности, тѣмъ болѣе, что Гумбольдтъ для своихъ опытовъ не обмывалъ мышцу водою. Что же касается опытовъ послѣдняго съ мышечнымъ сокращеніемъ отъ наложенія однородной металлической дуги изъ ртути, то они уже по своей формѣ заключаютъ въ себѣ условія для измѣненія металлической поверхности,—именно вслѣдствіе неодновременнаго соприкасанія съ ней нерва и мышцы,—и потому не могутъ опровергать Вольты. И такъ комскому физику было бы легко отвѣчать на эти возраженія, но ему было не до того: въ его умѣ зрѣло въ то время устройство аппарата, знаменитаго въ исторіи физики и извѣстнаго подъ именемъ вольтова столба.

Въ 1797 г. слышится въ послѣдній разъ голосъ Гальвани. Онъ всячески старается исключить изъ опытовъ съ мышечнымъ сокращеніемъ безъ металловъ мысль о механическомъ сотрясеніи нерва, и между прочими опытами приводитъ слѣдующее замѣчательное наблюденіе: если нерву мышечнаго препарата, лежащаго на изолированной подставкѣ, придано изогнутое положеніе, какъ показываетъ *aa* (фиг. 2-я), и поверхъ его кладется нервъ другаго препарата *bb* такимъ образомъ, что одною точкою послѣдній

касается поперечнаго разрѣза перваго нерва, а другою его поверхности, то при этомъ происходитъ сокращеніе втораго мышечнаго препарата, а иногда и перваго вмѣстѣ со вторымъ. Мысль о происхожденіи этого сокращенія отъ механическаго сотрясенія Гальвани устраняетъ тѣмъ, что съ тою же силою кладетъ нервъ препарата *bb* не на нервъ 1-го, а на изолирующую его подставку, и не получаетъ сокращенія. Опытъ этотъ требуетъ большой раздражительности въ препаратѣ *bb*, притомъ для удачи его необходимо, чтобы точками соприкасанія, съ одной стороны, были *непремѣнно* поперечный разрѣзъ и продольная поверхность нерва; на этомъ основаніи опытъ этотъ принадлежитъ къ рѣдко удающимся. Для вѣрнѣйшей удачи его еще нужно замѣтить, что точка *c* препарата *bb* должна лежать какъ можно ближе къ центральному концу его нерва и раздраженіе между *a* и *c* не должно превышать 5-и миллиметровъ. Для Гальвани это наблюденіе имѣло лишь значеніе новаго факта, указывавшаго на то, что не нужно сочетанія двухъ разнородныхъ тканей для произведенія тока, слѣдовательно служило ему лишь новымъ аргументомъ противъ возраженій Вольты на причину сокращенія отъ наложенія нерва на мышцу; для насъ же оно имѣетъ, какъ увидимъ впослѣдствіи, значеніе перваго наблюденія, доказывающаго присутствіе тока въ нервѣ. Распространяться объ этомъ, равно какъ осмыслить тѣ предосторожности, которыя нужно принимать для удачи опыта, было бы однако теперь неумѣстно, и потому перехожу къ развитію дальнѣйшихъ судебъ нашего ученія.

Описанный опытъ остался безъ критики со стороны современниковъ. Гальвани умеръ. Въ 1799 г. Вольта выстроилъ свой столбъ, и физики, бросивъ капризныя явленія лягушечьяго препарата, обратились на вновь открытое поприще, обѣщавшее богатую жатву. Дѣло животнаго электричества было, такимъ образомъ, заброшено на долгое время, потому что единственнымъ представителемъ его остался племянникъ Гальвани —Альдини, наслѣдовавшій убѣжденія дяди безъ его счастья и занимавшійся, къ сожалѣнію, лишь варіяціями на старую тему, давнымъ-давно опровергнутую Вольтой. Входить въ описаніе его дѣятельности было бы слѣдовательно безполезно.

Прежде, однако, чѣмъ приступзть къ дальнѣйшему историче-

скому обзору ученія о животномъ электричествѣ, нехудо бросить общій взглядъ назадъ. Гальвани сдѣлалъ всѣ существенныя открытія: онъ нашелъ мышечное сокращеніе отъ наложенія разнородныхъ металлическихъ дугъ, отъ наложенія quasi однородной, и наконецъ отъ наложенія нерва на мышцу и на нервъ. Но въ то же время заблуждался, приписывая всѣ эти явленія электрическимъ свойствамъ мышцы и нерва. Вольта, доказавшій строгимъ научнымъ путемъ рожденіе электрическаго тока отъ соприкосновенія металловъ съ жидкостями, придаетъ истинный смыслъ явленіямъ мышечнаго сокращенія отъ наложенія металлическихъ дугъ, но въ свою очередь заходитъ далеко, сводя сокращеніе безъ металловъ въ сущности на ту же самую причину. По его мнѣнію, электрическіе токи мышцы суть явленія нѣкоторымъ образомъ случайныя, зависящія отъ присутствія проводящей жидкости въ мѣстѣ перехода мышечнаго мяса въ сухую жилу; воззрѣніе его исключаетъ, слѣдовательно, всякую мысль о существованіи электрическихъ разнородностей въ самомъ мясѣ мышцы, или въ одномъ только нервѣ. А между тѣмъ одинъ изъ приведенныхъ опытовъ Гумбольдта и послѣдній опытъ Гальвани могли родить эту мысль въ головахъ современниковъ. Такимъ образомъ вопросъ о животномъ электричествѣ оставался нерѣшеннымъ.

Со времени построенія вольтова столба до двадцатыхъ годовъ нынѣшняго столѣтія ученіе о гальванизмѣ сдѣлало громадные шаги. Открыто дѣйствіе тока на магнитную стрѣлку и это вліяніе употреблено какъ средство для открытія присутствія электрическаго тока и измѣренія силы его. Аппарату, устроенному съ этой цѣлію Швейггеромъ, Нобили придалъ много чувствительности, снабдивъ его двойною астатическою иглою Ампера. Устроенный такимъ образомъ мультипликаторъ онъ желалъ сравнить, относительно чувствительности, съ другимъ, извѣстнымъ изъ опытовъ Гальвани и Вольты, реоскопомъ, именно съ тѣломъ лягушки, и устроилъ свой опытъ по образцу одного изъ вольтовскихъ слѣдующимъ образомъ: въ два сосуда съ водою или солянымъ растворомъ погружался лягушечій препаратъ лапками и отрѣзкомъ позвоночника. Каждый разъ, какъ рядомъ съ этимъ препаратомъ погружалась въ сосуды замыкающая дуга изъ хлопчатой бумаги, пропитанная тѣмъ же растворомъ что въ сосудахъ, мышцы сокращались—являлись, слѣдовательно, по тогдашнимъ понятіямъ, условія для раз-

витія тока отъ наложенія однородной неметаллической дуги. Нобили желалъ именно своимъ инструментомъ уловить развитіе этого тока, и былъ очень удивленъ вначалѣ, что у него магнитная стрѣлка оставалась неподвижною, не смотря на присутствіе мышечныхъ сокращеній. Желая придать бòльшую чувствительность своему мультипликатору, онъ увеличилъ въ немъ число оборотовъ, погрузилъ его концы въ сосуды, гдѣ уже находился лягушечій препаратъ, и получилъ постоянное отклоненіе магнитной стрѣлки, указывавшее, что токъ лягушечьяго препарата идетъ отъ ногъ къ позвоночнику, а въ цѣломъ тѣлѣ лягушки отъ ногъ къ головѣ. Этому току и было дано имъ названіе собственнаго тока лягушки: «la corrente propria della rana». Изслѣдуя это явленіе далѣе, Нобили скоро нашелъ, что электро-магнитное дѣйствіе лягушечьяго тока переживаетъ способность мышцъ сокращаться подъ его же вліяніемъ: послѣдняя длится лишь минуты, а отклоненіе стрѣлки продолжаетъ существовать и черезъ нѣсколько часовъ по отдѣленіи заднихъ конечностей отъ тѣла. И въ этомъ, конечно, заключается причина, почему открытіе Нобили возбудило такъ мало интереса въ современникахъ и даже въ самомъ виновникѣ его. Находясь подъ вліяніемъ термоэлектрическихъ открытій, Нобили думалъ, что термическіе токи въ проводникахъ 2-го класса идутъ отъ согрѣтаго мѣста къ холоднѣйшему, и, перенося это на лягушечій токъ, объяснялъ происхожденіе его тѣмъ, что въ убитой лягушкѣ нервныя массы, какъ меньшія, скорѣе охлаждаются, чѣмъ мышечныя.

Вы видите, для того, чтобы возстановить кредитъ животнаго электричества, нужно было найдти связь между электрическими явленіями частей животнаго тѣла съ ихъ физіологическою дѣятельностью — и эту задачу принялъ на себя знаменитый итальянскій электро-физіологъ—Маттеуччи. О его первыхъ работахъ, явившихся подъ вліяніемъ этой мысли, но не относящихся прямо къ нашему вопросу, мы упоминать не будемъ и прямо перейдемъ къ тѣмъ изъ нихъ, которыя имѣютъ предметомъ лягушечій токъ. Онъ нашелъ, противно увѣреніямъ Вольты, что обмываніе мышцы водою отъ двухъ до трехъ разъ не уничтожаетъ сокращенія безъ металловъ, и въ этомъ онъ, какъ видите изъ опыта, совершенно правъ. Сокращеніе отъ наложенія нерва на мышцу удается не только на препаратахъ, отдѣленныхъ отъ тѣла, но и на жи-

вой лягушкѣ, хотя здѣсь оно нѣсколько слабѣе. Отъ мышечныхъ препаратовъ, которые показывали въ свѣжемъ состояніи на его мультипликаторѣ лягушечій токъ, ему не удавалось получить отклоненія стрѣлки, когда препараты эти умирали (состояніе мышцъ, послѣдующее за окоченѣніемъ), даже въ томъ случаѣ, если ихъ смачивали кислыми и щелочными жидкостями (мультипликаторъ Маттеуччи имѣлъ вначалѣ около 2000 оборотовъ). Изъ этого Маттеуччи заключаетъ, и конечно съ полнымъ правомъ, что въ основѣ лягушечьяго тока не лежитъ разница въ реакціяхъ мышечной и нервной ткани, — мысль, которая въ то время была естественной, потому что тогда Беккерель уже устроилъ свою гальваническую пару изъ кислоты и щелочи. Это подтверждаетъ онъ еще тѣмъ, что при обыкновенныхъ условіяхъ и реактивная бумажка не указываетъ этихъ различій. Преслѣдуя дальше причины лягушечьяго тока, Маттеуччи скоро убѣждается, что она не лежитъ вообще въ сочетаніи нервной ткани съ мышечной: токъ всегда получается, если концы мультипликатора приведены въ соприкосновеніе съ какими-либо двумя точками мышечной поверхности тѣла лягушки. Если снять кожу съ цѣлаго животнаго и погрузить его ногами въ одинъ изъ сосудовъ мультипликатора, а головою въ другой, то получается отклоненіе стрѣлки не менѣе сильное, чѣмъ отъ препарата Гальвани, притомъ имѣющее то же самое направленіе, т. е. отъ ногъ къ головѣ. То же самое имѣетъ мѣсто, если концы мультипликатора сообщены съ голенью и бедромъ, будутъ ли послѣднія связаны органически, или посредствомъ жидкихъ проводниковъ. Рядомъ послѣднихъ замѣчательныхъ открытій Маттеуччи опровергъ мысль Нобили о термическомъ происхожденіи лягушечьяго тока.

Изъ этого бѣглаго историческаго очерка первоначальной дѣятельности Маттеуччи (отъ 1837—1840), которымъ я закончу историческій обзоръ нашего ученія, вы видите, м. г., что онъ былъ истиннымъ спасителемъ животнаго электричества: онъ первый доказалъ связь между электрическими явленіями животнаго тѣла и его физіологическимъ состояніемъ. Кромѣ того, вы вскорѣ убѣдитесь, что въ работахъ итальянскаго ученаго лежитъ уже условіе тѣхъ замѣчательныхъ открытій, которыми подарилъ вскорѣ науку теперешній берлинскій профессоръ физіологіи — дю-Буа-Реймонъ.

Теперь я нахожу приличнымъ говорить о современномъ методѣ изслѣдованія животныхъ частей относительно ихъ электродинамическихъ свойствъ, выработанномъ трудами Нобили, Маттеуччи и дю-Буа. Но такъ какъ я имѣю въ рукахъ лишь инструментъ послѣдняго, притомъ онъ самый совершенный изъ собратій, то при описаніи частностей метода я буду имѣть въ виду мультипликаторъ дю-Буа.

Физическія основы этого инструмента, равно какъ главнѣйшія условія его чувствительности, конечно, извѣстны вамъ изъ физики. Мнѣ остается здѣсь лишь напомнить вамъ, что при извѣстныхъ условіяхъ мультипликаторъ можетъ быть употребляемъ не только для открытія присутствія и направленія электрическаго тока, но и для измѣренія силы его, и, конечно, инструментъ имѣетъ большое достоинство, если оба эти свойства въ немъ слиты. Къ сожалѣнію, въ нашемъ случаѣ мультипликаторъ не можетъ имѣть измѣрительнаго значенія. Мы имѣемъ дѣло съ такими слабыми электрическими токами, что всячески должны стараться о возвышеніи чувствительности инструмента, а черезъ это-то именно и теряется его гальванометрическое значеніе. Для увеличенія чувствительности, мультипликатору придана двойная астатическая игла Ампера и число оборотовъ въ немъ доведено до нѣсколькихъ тысячъ. Казалось бы, что чѣмъ больше число послѣднихъ, тѣмъ инструментъ чувствительнѣе, однако же нетрудно убѣдиться въ томъ, что есть много условій, кладущихъ извѣстный предѣлъ этому увеличенію. Разберемъ нѣкоторыя изъ нихъ.

Вамъ извѣстенъ электродинамическій законъ Ома, по которому сила тока прямо пропорціональна электродвигательной силѣ и обратна суммѣ препятствій въ цѣпи. Выраженіемъ этого закона служитъ слѣдующая формула Ома: $s = \frac{e}{w+v}$; здѣсь s сила тока; e—электро-двигательная сила; w—препятствіе внутри электродвигателя; v—препятствіе внѣ его въ цѣпи. Въ опытахъ, гдѣ электродвигатели суть животныя части, а проводникомъ тока внѣ электродвигателя служитъ металлическая проволока мультипликатора, w чрезвычайно велико въ сравненіи съ v, и потому послѣднее можетъ быть значительно увеличено безъ опасенія ослабить электромагнитное дѣйствіе тока, увеличивающееся съ каж-

дымъ оборотомъ проволоки. Понятно однако, что выгода умноженія оборотовъ наконецъ исчезаетъ, когда v перестаетъ быть малымъ въ сравненіи съ w, потому что тогда сила тока значительно ослабляется длиною проволоки, притомъ новые обороты ея ложатся все дальше и дальше отъ магнитной стрѣлки, слѣдовательно отклоняющее дѣйствіе ихъ на послѣднюю постоянно уменьшается. На этомъ основаніи, вы видите въ нашемъ мультипликаторѣ число оборотовъ доходящимъ во 22000; maximum же ихъ, употребляемое въ настоящее время, есть 30000. Расположеніе оборотовъ относительно астатической иглы извѣстно вамъ изъ физики и понятно при первомъ взглядѣ на инструментъ. Здѣсь я долженъ лишь замѣтить, что чѣмъ болѣе скучены обороты къ продольной оси своей массы, тѣмъ инструментъ чувствительнѣе; по крайней мѣрѣ первый толчекъ, сообщаемый стрѣлкѣ токомъ, значительнѣе, потому что тогда обороты дѣйствуютъ на нее дружнѣе. Въ инструментахъ Зауервальда проволока навита, сверхъ того, такимъ обраaомъ, что въ цѣпь можно вводить, по желанію, полное и половинное число оборотовъ.

III.

Продолженіе прошлой лекціи. — Астазія магнитныхъ иголокъ. — Отклоненіе пары оборотами мультипликатора. — Исправленіе этого недостатка. — Концы мультипликатора.

М. Г.

Прошлый разъ было упомянуто, что въ мультипликаторѣ для опытовъ съ животными частями употребляется двойная астатическая игла Ампера. Смыслъ этой системы заключается, какъ вамъ извѣстно, въ томъ, что она, не переставая быть магнитомъ, т. е. подлежа отклоняющему дѣйствію электрическихъ токовъ, вполнѣ изолирована отъ дѣйствія земнаго магнетизма. Этому-то свойству ея и обязанъ нашъ мультипликаторъ своею чувствительностью. Стало быть, годность этого инструмента для животно-электрическихъ опытовъ вполнѣ зависитъ отъ степени астазіи магнитной пары, и всякому, который желаетъ производить эти опыты самъ, конечно, необходимо познакомиться съ способомъ намагничивать

иглы и дѣлать ихъ астатичными. Прежде всего я долженъ однако войдти въ описаніе признаковъ, по которымъ обыкновенно судятъ о степени астатичности пары. Этихъ признаковъ, м. г., два: продолжительность качанія системы около ея устойчиваго положенія равновѣсія и такъ называемое произвольное устойчивое положеніе системы относительно магнитнаго меридіана.

Изъ сдѣланнаго выше опредѣленія смысла астатической пары ясно слѣдуетъ, что она находится внѣ всякаго вліянія земнаго магнетизма, слѣдовательно взвѣшенная подвижно на нить или острiе и выведенная какимъ бы то ни было образомъ изъ своего устойчиваго положенія, идеально-астатическая система въ своемъ движеніи встрѣчаетъ сопротивленіе лишь въ упругости воздуха, треніи объ острiе или въ раскручиваніи нити. Если же пара неастатична, то сверхъ всѣхъ этихъ вліяній на нее дѣйствуетъ еще магнитная сила земли, которая противудѣйствуетъ всякому выходу стрѣлки изъ устойчиваго положенія. Ясно, что чѣмъ дѣйствіе послѣдней силы на пару значительнѣе, другими словами — чѣмъ астазія пары несовершеннѣе, тѣмъ, при прочихъ равныхъ условіяхъ, величина размаха и продолжительность качанія меньше; на оборотъ, чѣмъ астазія полнѣе, тѣмъ качаніе медленнѣе. Для иголокъ Зауэрвальда, приготовляющаго въ Берлинѣ мультипликаторы дю-Буа, можно положить за правило, что если время одного качанія системы, взвѣшенной внѣ мультипликатора, равно 45 секундамъ, то астазія пары достаточна для опытовъ.

Произвольное устойчивое положеніе пары, перпендикулярное къ направленію магнитнаго меридіана, есть второй признакъ ея астазіи. Чтобы понять, какимъ образомъ можетъ произойти это явленіе, противорѣчащее повидимому теоретическимъ воззрѣніямъ на астатическую пару, которыя требуютъ отъ нея устойчиваго положенія во всевозможныхъ направленіяхъ, необходимо припомнить, что совершенное совпаденіе въ одну плоскость продольныхъ осей обѣихъ иголокъ есть вещь случайная, почти никогда не встрѣчающаяся. Слѣдовательно, если взвѣсить такую систему вертикально и взять горизонтальныя проекціи ея иголокъ, то онѣ всегда будутъ перекрещиваться, какъ показываютъ линіи ns и $n's'$ (фиг. 3-я). Здѣсь линія NS обозначаетъ направленіе магнитнаго меридіана. Магнитная сила земли представлена для простоты дѣйствующею лишь на точки n' и s; наконецъ въ чертежѣ при-

нято, что въ первый моментъ пара занимаетъ положеніе перпендикулярное къ направленію магнитнаго меридіана. Если игла $n's'$ (фиг. 3-я) намагничена сильнѣе, то вся система будетъ двигаться отъ n' къ N; при этомъ моментъ вращенія иглы $n's'$ [1]), какъ ближайшей къ меридіану, убываетъ скорѣе, чѣмъ противоположный по знаку моментъ иглы ns; слѣдовательно при неполной астазіи система остановится гдѣ-нибудь между n' и N (когда противоположные по знаку моменты вращенія будутъ равны между собою), и тѣмъ ближе къ меридіану, чѣмъ астазія несовершеннѣе; напротивъ, тѣмъ ближе къ n', чѣмъ она полнѣе.

Совокупность изложенныхъ двухъ признаковъ достаточна, чтобы судить о годности астатической пары для животно-электрическихъ опытовъ.

Теперь нѣсколько словъ о намагничиваніи и астазированіи иголокъ.

Для намагничиванія систему очень удобно вкладывать въ особаго рода клещи, которые вы здѣсь видите, состоящіе изъ двухъ деревянныхъ пластинокъ шириною миллиметровъ въ 10, выложенныхъ съ внутреннихъ сторонъ, которыми онѣ лежатъ другъ на другѣ, пробкой и свинчивающихся двумя винтами по бокамъ. Система кладется въ клещи такъ, что изъ за края ихъ выстоятъ поочередно цѣлыя половины обѣихъ иголокъ, которыми и проводятъ по свободнымъ концамъ подковообразнаго магнита. Намагничиваніе достаточно производить въ двухъ плоскостяхъ иголокъ, и если по магниту проведено въ каждой плоскости разъ 20, то при малости иголокъ ихъ всегда можно считать насыщенными. Намагниченная такимъ образомъ пара взвѣшивается на шелковой нити надъ кругомъ съ дѣленіями на градусы (конечно не металлическомъ). Вблизи должна находиться буссоль, чтобы знать направленіе магнитнаго меридіана. При первомъ взвѣшиваніи пара становится почти всегда въ плоскость магнитнаго меридіана, что служитъ указаніемъ, что та изъ иголокъ, у которой обозначенный (сѣверный) полюсъ обращенъ къ сѣверу, сильнѣе другой. Для полученія астазіи нужно слѣдовательно или размагнитить

[1]) Моментъ вращенія есть произведеніе изъ величины вертящей силы на разстояніе ея отъ точки вращенія.

(ослабить) эту иглу, или усилить другую. По наблюденіямъ Нобили, слѣдуетъ всегда размагничивать сильнѣйшую, потому что обыкновенно слабѣйшая, будучи усилена, не удерживаетъ этого излишка магнетизма и быстро теряетъ его. Для размагничиванія употребляютъ намагниченную заранѣе швейную стальную иглу, прикасаясь ея концомъ къ одноименному полюсу размагничиваемой иглы. Сдѣлать пару съ одного такого пріема астатичною обыкновенно не удается, а потому надъ сильнѣйшей иглой повторяется описанная операція до тѣхъ поръ, пока качаніе пары или положеніе ея относительно магнитнаго меридіана не укажутъ на достиженіе цѣли. При размагничиваніи не должно еще забывать, что эффектъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ ближе дотрогиваются концомъ швейной иглы къ концу размагничиваемой, и наоборотъ, тѣмъ слабѣе, чѣмъ ближе лежитъ мѣсто касанія первой къ срединѣ послѣдней. Астатическая пара взвѣшивается теперь въ мультипликаторъ, который поставленъ уже такимъ образомъ, что продольная ось его оборотовъ лежитъ параллельно послѣднему положенію астатической пары. При этомъ условіи игла должна была бы, повидимому, сохранить и въ мультипликаторѣ то же положеніе, какое она занимала внѣ его. Этого однако никогда не бываетъ, и это служитъ явнымъ признакомъ, что въ мультипликаторѣ являются новыя силы, выводящія систему изъ ея устойчиваго положенія. Нобили уже замѣтилъ, что стрѣлка занимаетъ въ мультипликаторѣ не одно устойчивое положеніе, какъ внѣ его, а почти всегда два, и что оба они совпадаютъ по направленію приблизительно съ діагональными плоскостями оборотовъ. Это явленіе Нобили справедливо объяснилъ тѣмъ, что проволока мультипликатора (въ нашемъ мѣдная) всегда заключаетъ въ себѣ желѣзо, которое подъ вліяніемъ иглы намагничивается и въ свою очередь дѣйствуетъ на нее отклоняющимъ образомъ. Если желѣзо распредѣлено въ массѣ проволоки довольно равномѣрно, то въ направленіи діагональныхъ плоскостей оборотовъ на стрѣлку дѣйствуетъ наибольшее число магнитныхъ частичекъ, и потому она стоитъ здѣсь устойчиво. Въ такомъ видѣ инструментъ не годенъ для опытовъ. Во первыхъ, онъ мало чувствителенъ для слабыхъ токовъ, во-вторыхъ, неодинаково чувствителенъ для токовъ различныхъ направленій, наконецъ въ немъ случайныя механическія причины, напр. токъ воздуха, сотрясеніе инструмента, мо-

гутъ производить значительныя отклоненія стрѣлки и тѣмъ ввести въ заблужденіе наблюдателя. Къ счастію, есть средство пособить горю, и мы займемся описаніемъ его.

Будучи убѣжденнымъ, что всѣ почтенные слушатели не будутъ довольствоваться однимъ голословнымъ указаніемъ практическаго пріема, устраняющаго названный недостатокъ инструмента, а пожелаютъ познакомиться и съ смысломъ этого пріема, потому что безъ этого возможно лишь автоматическое, а не разумное обладаніе инструментомъ, я постараюсь изобразить для васъ, по примѣру дю-Буа-Реймона, графически то вліяніе силъ на астатическую пару, подъ которымъ она находится, будучи взвѣшенною въ мультипликаторъ.

Вообразите себѣ, что окружность круга мультипликатора, раздѣленная на градусы, вытянута въ прямую линію и принята за абсциссу. На ней 0° (фиг. 4-я) означаетъ ту точку дѣленія, которая соотвѣтствуетъ щели между оборотами и черезъ которую проходитъ діаметръ круга параллельный положенію астатической системы внѣ мультипликатора. Задача наша состоитъ въ томъ, чтобы опредѣлить графически величину силъ, дѣйствующихъ на стрѣлку въ различныхъ ея положеніяхъ на окружности круга, слѣдовательно отъ 0° въ обѣ стороны; и такъ какъ мы будемъ имѣть дѣло лишь съ вращательными силами, то опредѣленію нашему будутъ подлежать моменты вращенія. Выше было сказано, что подъ вліяніемъ магнитности оборотовъ стрѣлка занимаетъ въ мультипликаторѣ два устойчивыхъ положенія по направленію діагональныхъ плоскостей оборотовъ. Пусть эти положенія соотвѣтствуютъ стоянію концовъ стрѣлки на 19° по обѣ стороны 0°. Въ этихъ точкахъ моменты вращенія равны нулю, потому что здѣсь вертящія силы проходятъ черезъ точку вращенія, слѣдовательно, если мы вообще эти величины будемъ выражать высотами ординатъ, то и послѣднія, какъ сдѣлано въ чертежѣ, равны нулю. Если стрѣлка выводится въ какую-нибудь сторону изъ устойчиваго положенія, то съ удаленіемъ ея отъ него, моменты вращенія, какъ извѣстно, возрастаютъ, притомъ отклоненная стрѣлка всегда стремится придти въ прежнее положеніе. Оба эти обстоятельства выражены на чертежѣ: первое тѣмъ, что кривая съ удаленіемъ отъ 19° вправо и влѣво поднимается надъ абсциссой, второе же обозначено направленіемъ стрѣлокъ. Когда система двигается съ

обѣихъ сторонъ отъ 19° къ 0°, то на срединѣ между обоими устойчивыми положеніями равновѣсія (на 0°) она находится подъ вліяніемъ двухъ вертящихъ силъ, которыхъ противоположные по знаку моменты равны между собою, слѣдовательно и на 0° есть для стрѣлки положеніе равновѣсія; но здѣсь оно неустойчиво, потому что если система уклонится изъ него вправо или влѣво даже на безконечно малый уголъ, то уже не вернется назадъ, а будетъ продолжать двигаться въ томъ направленіи, куда отклонилась. На 0° ордината слѣдовательно опять равна нулю.. Если соединить вершины ординатъ кривою, то получится линія *k q p r s h*, выражающая, такъ сказать, состояніе стрѣлки въ различныхъ точкахъ по окружности круга подъ вліяніемъ магнитности оборотовъ. Но вѣдь эти силы не единственныя: астазія полной никогда быть не можетъ; слѣдовательно на систему и въ мультипликаторѣ продолжаетъ дѣйствовать магнитная сила земли. Постараемся же и ее выразить графически. Если такъ называемое произвольное отклоненіе системы внѣ мультипликатора отъ магнитнаго меридіана совпадаетъ, какъ у насъ принято, съ нулевой линіей инструмента, то и результирующая изъ дѣйствія магнитной силы земли на астатическую пару должна совпадать съ этою линіею (иначе произошло бы вращеніе системы); слѣдовательно моменты вращенія послѣдней силы увеличиваются по мѣрѣ удаленія системы отъ 0° въ обѣ стороны, притомъ увеличиваются пропорціонально синусамъ угловъ отклоненія, и потому дѣйствіе этой силы на магнитную стрѣлку можетъ быть выражено ломанною линіею ***XOZ***. Чтобы судить теперь о состояніи стрѣлки въ различныхъ точкахъ окружности круга подъ вліяніемъ магнитности земли и оборотовъ мультипликатора, стоитъ только суммировать алгебраически (т. е. складывать или вычитать, смотря по знаку) соотвѣтствующія каждой точкѣ величины моментовъ вращенія обѣихъ силъ, и, нанося полученныя новыя ординаты на старую абсциссу, соединить вершины ординатъ кривою линіею. Послѣдняя и покажетъ требуемое. На фигурѣ 5-й такъ и сдѣлано. Изъ нея всякій, конечно, видитъ, что существенныхъ измѣненій въ состояніи стрѣлки несовершенство астазіи не произвело: оно сблизило лишь между собою устойчивыя положенія равновѣсія, да уменьшило нѣсколько величину моментовъ вращательныхъ силъ, дѣйствующихъ на стрѣлку вблизи 0°. Въ послѣднемъ отношеніи не-

полнота астазіи была отчасти даже полезна. Тѣмъ не менѣе инструментъ въ этомъ видѣ негоденъ, какъ сказано выше, къ употребленію. Нобили исправилъ его тѣмъ, что нарушилъ еще болѣе астазію пары, поставивъ въ направленіи нулевой линіи мультипликатора исправительный магнитъ такъ, чтобы онъ едва удерживалъ стрѣлку устойчиво на 0°, притомъ въ такомъ отдаленіи отъ нея, чтобы по выходѣ системы изъ устойчиваго положенія разстояніе ея отъ исправительнаго магнита не измѣнялось чувствительно. Тогда моменты вращенія новой силы, слагаясь съ моментами вращенія земнаго магнетизма, образовали у него такую ломанную линію, которая, начинаясь на абсциссѣ въ 0°, поднималась надъ послѣднее въ обѣ стороны круче, чѣмъ линія *XOZ* въ предъидущемъ чертежѣ, и нигдѣ не пересѣкала кривую. Такимъ образомъ отклоняющее дѣйствіе оборотовъ мультипликатора и связанныя съ нимъ устойчивыя положенія системы по обѣ стороны нулевой линіи, конечно, исчезли; но этому была принесена въ жертву немалая доля чувствительности системы. Имѣя это важное обстоятельство въ виду, равно какъ удобство инструмента при его употребленіи, дю-Буа-Реймонъ придалъ исправительному магниту въ своемъ мультипликаторѣ чрезвычайно малые размѣры (острый конецъ стальной швейной иголки, длиною миллиметра въ 2, вставленный въ мѣдную оправу и могущій быть приближеннымъ или удаленнымъ отъ верхней стрѣлки астатической пары посредствомъ механизма съ микрометрическими винтами), но за то помѣстилъ его вблизи стрѣлки подъ колпакомъ мультипликатора и связалъ съ самымъ инструментомъ. Этотъ магнитъ стоитъ противъ 0° и на столько приближенъ къ стрѣлкѣ, чтобы она едва держалась на нулѣ. Дѣйствіе магнита на астатическую систему выражено въ фигурѣ 6-й графически кривою $\sigma'5'5\sigma$. Возвышаясь отъ 0° надъ абсциссою въ обѣ стороны, она скоро достигаетъ наибо́льшей высоты, за тѣмъ быстро падаетъ и наконецъ постепенно приближается къ абсциссѣ. Это значитъ, что по малости магнита сфера его вліянія на стрѣлку такъ незначительна, что уже вблизи 0° моментъ вращенія достигаетъ наибо́льшей величины. За этимъ предѣломъ дѣйствіе магнита на стрѣлку такъ быстро падаетъ, что паденіе это не компенсируется возрастаніемъ разстояній вращательныхъ силъ ото точки вращенія. На дальнѣйшихъ же разстояніяхъ стрѣлки отъ 0° измѣненія въ величинахъ

вращательныхъ моментовъ мало замѣтны, потому что величины вращательныхъ силъ сами по себѣ чрезвычайно малы. Если суммировать алгебраически соотвѣтсвующія ординаты этой кривой съ тою, которая изображена на предъидущемъ чертежѣ, то получится кривая, обозначенная на фиг. 6-й сплошною линіею. Нѣтъ, кажется, и нужды доказывать, что съ этимъ исправительнымъ магнитомъ система чувствительнѣе, чѣмъ въ инструментѣ Нобили.

Теперь обращаю ваше вниманіе на слѣдующее обстоятельство. Мы до сихъ поръ принимали, что когда обороты мультипликатора поставлены параллельно произвольному положенію астатической пары внѣ инструмента и игла взвѣшена въ послѣдній, то устойчивыя положенія системы отъ дѣйствія оборотовъ проволоки лежатъ по обѣ стороны нулевой линіи симметрично. Этого почти никогда не бываетъ, и потому тотчасъ по взвѣшеніи стрѣлки слѣдуетъ убѣдиться, на сколько градусовъ по ту и по сю сторону нуля стоитъ она устойчиво, и поворачивать кругъ мультипликатора вмѣстѣ съ оборотами въ томъ направленіи, куда система отклонена на большее число градусовъ, до тѣхъ поръ, пока стрѣлка не будетъ стоять по обѣ стороны нуля симметрично. Безъ этого система была бы неодинаково чувствительна въ обѣ стороны. Когда это уже сдѣлано, то вводится въ мультипликаторъ исправительный магнитъ. Постоянное отклоненіе магнитной стрѣлки въ мультипликаторѣ, вызываемое электрическимъ токомъ, не можетъ по самой сущности инструмента превышать 90°; но первый толчекъ, сообщаемый стрѣлкѣ токомъ, часто переводитъ ее далеко за эту наибольшую границу постояннаго отклоненія. Тогда при подвижности укрѣпленія системы въ нашемъ мультипликаторѣ (на шелковой коконной нити) она можетъ описать 180° и болѣе градусовъ. Въ этомъ случаѣ необходимо успокоивать стрѣлку, а на это всегда теряется не мало времени. Поэтому въ мультипликаторѣ дю-Буа на окружности его круга въ направленіи перпендикулярномъ къ нулевой линіи укрѣплены тонкія, гибкія, пластинки, не позволяющія стрѣлкѣ заходить за 20°.

Описавши такимъ образомъ инструментъ, съ которымъ намъ придется имѣть много дѣла, обращаюсь теперь къ способу сообщенія мультипликатора съ животными частями; буду говорить о такъ называемыхъ концахъ мультипликатора. Въ основѣ ихъ

устройства лежитъ слѣдующая мысль: мультипликаторъ для животно-электрическихъ опытовъ есть весьма чувствительный реоскопъ, слѣдовательно онъ долженъ сообщаться съ животными частями такимъ образомъ, чтобы на границахъ этого сообщенія не было никакихъ условій для развитія электрическихъ токовъ. Задача нелегкая, потому что какая бы форма ни была дана концамъ мультипликатора, во всякомъ случаѣ нельзя избѣжать соприкосновенія металла съ жидкостью, а это соприкосновеніе даетъ, какъ вамъ извѣстно, много поводовъ къ развитію электрическихъ токовъ. Покажемъ это въ примѣрахъ. Вотъ двѣ мѣдныя проволоки, ввинченныя въ мультипликаторъ и составляющія продолженіе его оборотовъ. Къ свободнымъ концамъ этихъ проволокъ я прикрѣпляю двѣ платиновыя пластинки, на видъ совершенно чистыя, и погружаю ихъ по возможности одновременно въ сосудъ съ слабымъ водянымъ растворомъ сѣрной кислоты на столько, чтобы жидкость не доходила до мѣста соединенія мѣди съ платиной. Слой жидкости, заключенный между погруженными въ нее пластинками, замыкаетъ цѣпь мультипликатора и вы видите отклоненіе стрѣлки, ясно указывающее на присутствіе электрическаго тока въ цѣпи [1]). Откуда же онъ берется? Конечно, не изъ соприкосновенія мѣди съ платиной, потому что уже изъ опытовъ Гальвани оказалось, что металлическая дуга не теряетъ своей однородности изъ скольких различныхъ металловъ она бы ни была составлена, лишь бы концы ея были однородны. Химическаго дѣйствія между сѣрной кислотой и платиной нѣтъ. Стало быть, нужно думать, что причина электрическаго тока лежитъ здѣсь въ разнородности металлическихъ поверхностей. Если, въ самомъ дѣлѣ, тщательно очистить послѣднія, прокалить пластинки, дать имъ остыть и погрузить ихъ въ томъ же растворѣ совершенно одновременно, то отклоненія стрѣлки не бываетъ, или если оно является, то на нѣсколько мгновеній. Но погрузите эти же самыя одно-

[1]) Этотъ опытъ можно поставить по сущности рядомъ съ мышечнымъ сокращеніемъ отъ наложенія на нервъ quasi однородной металлической дуги: какъ тамъ сокращеніе происходитъ отъ развитія электрическаго тока вслѣдствіе неравномѣрности концовъ дуги, такъ и здѣсь отклоненіе стрѣлки производится токомъ, происходящимъ изъ неоднородности металлическихъ поверхностей пластинокъ.

родныя металлическія пластинки въ ту же жидкость неодновременно и вы сейчасъ замѣтите движеніе стрѣлки. Этотъ опытъ я тоже повторю на вашихъ глазахъ. Вы видите, что сказанное въ самомъ дѣлѣ имѣетъ мѣсто. Я могъ бы привести вамъ еще другіе примѣры, но останавливаюсь на этихъ, потому что лишь они имѣютъ важное значеніе въ способѣ сообщенія концовъ мультипликатора съ животными частями.

IV.

Концы мультипликатора. — Электро-динамическія явленія отдѣльныхъ мышцъ. — Законы мышечнаго и нервнаго токовъ.

М. Г.

Подъ конецъ прошлой лекціи вы видѣли, что при сообщеніи металлическихъ дугъ съ жидкостями развиваются электрическіе токи, если металлическія поверхности концовъ, погруженныхъ въ жидкость, неоднородны, или если погруженіе ихъ происходитъ неодновременно. Первое изъ этихъ обстоятельствъ исключаетъ всякую ввзможность непосредственнаго приложенія металлическихъ проволокъ или пластинокъ, служащихъ продолженіемъ оборотовъ мультипликатора, къ животнымъ частямъ. Второе же исключаетъ всзможность прикладыванія ихъ посредствомъ рукъ, а слѣдовательно требуетъ ихъ неподвижнаго укрѣпленія. Надъ рѣшеніемъ этихъ вопросовъ трудился первый Нобили. Убѣдившись въ возможности сдѣлать металлическія (платиновыя) поверхности концовъ мультипликатора однородными, онъ укрѣпилъ ихъ неподвижно въ слой жидкости, которую помѣстилъ какъ посредственное звѣно между металломъ и животными частями [1]). Эта мысль удержана и въ новѣйшихъ употребительныхъ формахъ концовъ мультипликатора. Этихъ формъ двѣ, и обѣ онѣ выработаны дю-

---

[1]) Найдти для этой цѣли вмѣсто жидкости какое-нибудь твердое неметаллическое тѣло едва ли возможно, потому что большинство изъ нихъ или до чрезвычайности худо проводятъ электричество, или ихъ сдѣлать равномѣрными очень трудно.

Буа. Въ первой изъ нихъ металлическіе концы мультипликатора платиновые и посредствующая жидкость между ними и животными частями насыщенный растворъ поваренной соли, во второй амальгамированный цинкъ и водный растворъ сѣрнокислой окиси цинка. При выборѣ металловъ руководствуются тѣмъ, чтобы поверхности ихъ не измѣнялись подъ вліяніемъ жидкости, въ которую они погружены, отчего страдала бы равномѣрность концовъ мультипликатора. Въ этомъ отношеніи платина представляетъ очень много удобства; но она, какъ всѣ электро-негативные металлы, даетъ сильную поляризацію, которая не существуетъ для амальгамированнаго цинка, погруженнаго въ водный растворъ сѣрнокислой окиси того же металла. Послѣднее обстоятельство такъ выгодно, что въ настоящее время цинку всѣ отдаютъ рѣшительное предпочтеніе передъ платиной. Что касается до жидкости, то она должна имѣть постоянное смѣшеніе, и потому-то употребляются совершенно насыщенные растворы солей (послѣднее обстоятельство относительно цинковаго купороса въ томъ отношеніи не совсѣмъ выгодно, что maximum гальванической проводимости его растворовъ не совпадаетъ съ ихъ насыщеніемъ); притомъ жидкость должна быть по возможности индифферентна относительно животныхъ частей, съ которыми приходитъ въ соприкосновеніе (сейчасъ увидимъ, какая уловка употребляется для предохраненія этихъ частей отъ дѣйствія жидкости).

Вотъ форма цинковыхъ концовъ мультипликатора (фиг. 7-я) [1]), удовлетворяющая всѣмъ вышеизложеннымъ требованіямъ.

2 четырехугольныхъ стакана изъ литаго цинка. Длина каждаго бока въ свѣту центиметровъ 5,6; высота 2,2½. Къ верхнему концу одного изъ боковъ придѣланъ цинковый же отростокъ *A*, къ которому посредствомъ клещей привинчиваются проволоки мультипликатора. Внутренняя поверхность стакановъ тщательно амальгамируется; потомъ верхній край всѣхъ боковъ, за исключеніемъ противоположнаго боку съ отросткомъ, покрывается извну-

¹) Я не описываю платиновыхъ потому, что у кого они есть, тотъ, конечно, умѣетъ обращаться съ ними; тѣмъ же, которые незнакомы или не имѣютъ у себя мультипликатора съ концами, важно знать лишь употребительнѣйшую форму послѣднихъ.

три примѣрно на 1 центиметръ асфальтовымъ лакомъ. Въ каждый стаканъ ставится подушка *B, B* изъ наложенныхъ другъ на друга листковъ шведской пропускной бумаги, имѣющая въ профили форму, обозначенную въ чертежѣ и занимающая всю длину бока, къ которому прислонена. Насыщеннаго раствора цинковаго купороса наливаютъ въ стаканы столько, чтобы подушки *B, B* пропитались имъ и уровень жидкости стоялъ послѣ того выше нижней границы лака. Животная часть кладется на подушки *B, B*, но не прямо, а подъ нее дѣлается подставка *C* изъ нѣсколькихъ листочковъ шведской бумаги, пропитанной бѣлкомъ, или куски высушеннаго, промытаго въ эфирѣ, животнаго пузыря, размоченнаго въ той же жидкости. Животная часть не приходитъ такимъ образомъ въ непосредственное соприкосновеніе съ растворомъ цинковаго купороса, слѣдовательно предотвращается возможность измѣненія ея отъ дѣйствія послѣдняго; кромѣ того, по снятіи животной части съ подушки *B*, послѣдняя остается чистой. Смыслъ подушки слѣдующій: она есть продолженіе жидкости, находящейся въ стаканѣ; не будь ея, животную часть пришлось бы погрузить въ жидкость; отъ этого страдалъ бы и изслѣдуемый объектъ и грязнилась бы жидкость въ стаканахъ, слѣдовательно являлись бы условія неоднородности концовъ мультипликатора. Обмазываніе боковъ стакана извнутри до извѣстной глубины лакомъ и стояніе жидкости поверхъ нижней границы лака предотвращаетъ смачиваніе жидкостью металлическихъ поверхностей, непокрытыхъ ею, которое безъ этихъ условій происходило бы при каждомъ колебаніи жидкости въ стаканахъ и было бы однозначуще съ неодновременнымъ погруженіемъ металлическихъ концовъ мультипликатора въ жидкость, слѣдовательно давало бы поводъ къ развитію токовъ. Цинковые стаканы должны быть изолированы и потому всю внѣшнюю поверхность ихъ хорошо покрыть слоемъ асфальтоваго лака; кромѣ того, на рабочій столъ слѣдуетъ подставлять подъ нихъ стеклянныя пластинки. Когда концы мультипликатора устроены, испытываютъ ихъ однородность. Для этого стаканы сообщаются съ проволоками, ввинченными въ мультипликаторъ, а на подушки *A* кладется такъ называемая замыкательная подушка *D* (она тоже изъ шведской бумаги, пропитанной растворомъ цинковаго купороса, имѣетъ въ профили размѣры, примѣрно обозначенные въ чертежѣ, а по ширинѣ подушекъ за-

нимаетъ не больше половины ихъ) [1]. Отклоненіе стрѣлки обыкновенно появляется, но оно вскорѣ исчезаетъ. Чтобы сократить время сглаживанія этихъ незначительныхъ неравномѣрностей въ концахъ мультипликатора, необходимо держать цѣпь замкнутой, притомъ, на основаніи наблюденій Фехнера, стараться о возможномъ уменьшеніи препятствія въ цѣпи. Поэтому слѣдуетъ стаканы сблизить между собою до соприкосновенія подушекъ *A*, оставить надъ послѣдними замыкательную подушку *D* (черезъ это увеличивается поперечный разрѣзъ жидкости, сообщающей оба стакана, слѣдовательно уменьшается препятствіе существующему въ цѣпи току), а въ отростки стакановъ *A*, вмѣсто тонкой, длинной проволоки мультипликаторамъ, ввинчивается короткая, толстая.

Описавъ такимъ образомъ мультипликаторъ, употребляемый для животно-электрическихъ опытовъ, я повторю въ заключеніе еще разъ, что онъ, къ сожалѣнію, имѣетъ значеніе только реоскопа, мѣряющимъ же инструментомъ можетъ быть лишь въ очень ограниченномъ смыслѣ, именно, если въ двухъ послѣдующихъ опытахъ сумму препятствій въ цѣпи можно считать мало измѣнившеюся, а между тѣмъ величины постоянныхъ отклоненій магнитной стрѣлки очень различны, напр. 10^{0} и 50^{0}, то можно съ увѣренностью сказать, что второму отклоненію соотвѣтствуетъ бо̀льшая сила тока, чѣмъ первому.

Приступаю теперь къ описанію тѣхъ замѣчательныхъ результатовъ, которыхъ достигъ дю-Буа-Реймонъ при помощи своего метода. Прежде всего онъ констатировалъ открытые его предшественниками (Нобили и Маттеуччи) и уже извѣстные вамъ факты, т. е. токъ цѣлой лягушки, препарата Гальвани, и наконецъ токи отъ какихъ-нибудь двухъ точекъ по длинѣ мышечной поверхности тѣла лягушки. Уже изслѣдованія Маттеуччи показали для нижнихъ конечностей направленіе тока отъ лапъ къ нервнымъ центрамъ, дю-Буа нашелъ это и для верхнихъ. Дробя за тѣмъ тѣло лягушки на части, онъ убѣдился, что одна задняя конечность, от-

---

[1]) Когда животная часть (электровозбудитель) лежитъ на подушкахъ *B*,*B*, то замыкательная подушка *D* имѣетъ еще другой смыслъ: она служитъ побочнымъ замыканіемъ животно-электрическому току и выводитъ мультипликаторъ изъ цѣпи.

дѣленная отъ таза, даетъ не меньшее отклоненіе стрѣлки, чѣмъ препаратъ Гальвани; токъ голени вмѣстѣ съ лапой почти такъ же силенъ, какъ токъ цѣлой нижней конечности; токъ одного бедра слабѣе; всѣ эти токи имѣютъ направленіе отъ лапъ къ спинному мозгу, если концы мультипликатора прикасаются къ естественнымъ, непораненнымъ мышечнымъ поверхностямъ. Послѣднее обстоятельство родило было въ головѣ дю-Буа мысль, что токи конечностей стоятъ въ какой-нибудь связи съ дѣятельностью нервныхъ центровъ, но онъ вскорѣ разубѣдился въ ней, когда, повѣряя факты, найденные на лягушкѣ, съ конечностями другихъ животныхъ (саламандра, ящерица, голубь, кроликъ, мышь и пр.), онъ нашелъ въ нѣкоторыхъ изъ послѣднихъ токъ нисходящимъ. Такимъ образомъ въ различныхъ точкахъ тѣла животнаго открыто было присутствіе электрическихъ токовъ. Нужно было опредѣлить мѣсто и условія ихъ развитія. Искать первое въ полостныхъ органахъ было бы странно послѣ того, какъ части конечностей показали электродинамическія явленія. Всего естественнѣе было обратиться или къ сочетанію тканей, входящихъ въ составъ конечности, или къ каждой изъ этихъ тканей отдѣльно. Вы помните, уже Вольта говорилъ объ электрическомъ токѣ между мясомъ и сухой жилой мышцы. Мысль эта для времени Вольты была гипотезой, но теперь обойдти ее было уже нельзя, потому что существовало много фактовъ, указывающихъ на развитіе токовъ изъ сочетанія разнородныхъ проводниковъ втораго класса. Такимъ образомъ дю-Буа предстояло испытать всевозможныя сочетанія по два кусковъ мышцъ, нервовъ, костей и клѣтчатки. Входить въ описаніе этихъ опытовъ было бы безполезно, потому что они дали отрицательные результаты: тѣми ничтожными по силѣ и неправильными по направленію токами, которые являлись при сочетаніи различныхъ тканей, никакъ нельзя объяснить сильныхъ и правильныхъ по направленію токовъ частей конечностей. Теперь оставалось испытать каждую ткань относительно электродинамическихъ явленій отдѣльно. Кость и сухая жила [1]), какъ вы видите, не показываютъ тока, или отклоненія стрѣлки, производимыя ими, такъ незначительны и неправильны, что естественно

[1]) Объ электро-динамическихъ свойствахъ кожи будетъ рѣчь послѣ.

объясняются случайными разнородностями тѣхъ точекъ поверхностей этихъ тканей, съ которыми были сообщены концы мультипликатора. Другими словами, въ строеніи кости и сухой жилы нѣтъ такихъ постоянныхъ электрическихъ разнородностей, которыя обусловливали бы собою электро-динамическія явленія. Дѣло другаго рода—мышцы: всякая изъ нихъ, будучи сообщена съ концами мультипликатора, даетъ болѣе или менѣе сильное отклоненіе стрѣлки, притомъ направленіе тока въ нихъ имѣетъ опредѣленную законность. Сумма электрическихъ явленій, представляемыхъ *отдѣльной мышцей*, разработана дю-Буа и приведена имъ къ общей формулѣ, извѣстной въ наукѣ подъ именемъ закона мышечнаго тока. Вотъ рядъ явленій, лежащихъ въ основѣ этого закона.

Если мышца лежитъ на подушкахъ мультипликатора двумя точками своей поверхности, находящимися въ плоскости, перпендикулярной къ направленію фибръ, то стрѣлка остается въ покоѣ; то же самое, если концы мультипликатора сообщены съ двумя точками поверхности мышцы, лежащими по направленію фибръ и симметрично относительно плоскости, дѣлящей длину послѣднихъ пополамъ. Всякое же сообщеніе съ концами мультипликатора двухъ точекъ по длинѣ мышцы несимметричныхъ относительно срединной плоскости даетъ болѣе или менѣе сильный токъ, идущій по дугѣ мультипликатора [1]) отъ точки поверхности мышцы, ближайшей къ экватору (мы будемъ такъ называть срединную плоскость) къ точкѣ болѣе удаленной отъ него; слѣдовательно часть этихъ токовъ, идущая внутри самой мышцы, имѣетъ обратное направленіе, т. е. отъ точки удаленной къ ближайшей. Фиг. 8-я вполнѣ объясняетъ послѣднее.

Если дѣлить мышцу вдоль и поперегъ фибръ на какія угодно мелкія части, то для каждой изъ нихъ повторяется та же самая

---

[1]) Изъ направленія отклоненія стрѣлки можно, какъ извѣстно, узнать направленіе тока, отклоняющаго стрѣлку; но для этого нужно знать ходъ оборотовъ проволоки мультипликатора, что въ нашихъ инструментахъ съ виду невозможно. Для узнанія послѣдняго поступать слѣдуетъ такъ: когда стрѣлка намагничена, но еще не сдѣлана астатическою, ее взвѣшиваютъ въ мультипликаторъ и замыкаютъ послѣднимъ какой-нибудь гальваническій элементъ. Тогда извѣстно направленіе тока, дано отклоненіе стрѣлки, слѣдовательно по Амперовскому правилу легко найдти ходъ оборотовъ.

законность въ электро-динамическихъ явленіяхъ, какая существуетъ для цѣлой мышцы.

Если мышцу какого-нибудь животнаго побольше, чѣмъ лягушка, напримѣръ икряную мышцу кролика, перерѣзать поперегъ фибръ и различныя точки поперечнаго разрѣза сообщить съ мультипликаторомъ, то оказывается, что въ дугѣ мультипликатора токъ идетъ отъ точки болѣе далекой отъ центра (если принимать площадь сѣченія мышцы близкой къ площади круга) къ точки ближайшей къ нему. Точки симметричныя относительно центра не даютъ тока.

Чтобы имѣть возможность сообщать точки поперечнаго разрѣза мышцы съ концами мультипликатора, на главныя подушки (фиг. 9) *AA* послѣдняго кладутся вспомогательныя *B*, *B*, съ острыми концами *CC*, которыми и касаются поперечнаго разрѣза.

Если сообщить какую нибудь точку продольной поверхности мышцы съ какою-нибудь точкою поперечнаго разрѣза, то въ дугѣ мультипликатора является токъ значительно сильнѣйшій, чѣмъ въ разобранныхъ до сихъ поръ комбинаціяхъ, идущій отъ точки продольной поверхности къ точкѣ поперечнаго разрѣза; слѣдовательно въ самой мышцѣ наоборотъ [1]). Отношеніе это между точками продольной поверхности и поперечнаго разрѣза сохраняется для какой угодно малой части мышцы, даже для ея первичнаго волокна, какъ нашелъ дю-Буа. Совершенно то же отношеніе существуетъ между продольною поверхностью мышцы и ея сухою жилою.

Въ существованіи электрическаго тока между двумя послѣдними элементами мышцы вы уже убѣдились изъ опытовъ съ мышечнымъ сокращеніемъ безъ металловъ, именно изъ той формы опыта, гдѣ получается сокращеніе отъ прикладыванія нерва одною точкою къ мясной поверхности мышцы, а другою къ ея сухой жилѣ. Сокращенію этому не можетъ быть, конечно, никакой иной причины, кромѣ прохожденія черезъ нервъ того тока, который показываетъ вамъ мультипликаторъ, потому что изъ опытовъ съ

---

[1]) Независимо отъ дю-Буа, и даже нѣсколько ранѣе его, Маттеуччи открылъ посредствомъ мультипликатора и лягушечьяго препарата существованіе сильнаго тока между поперечнымъ разрѣзомъ и продольною поверхностью мышцы на грудномъ мускулѣ голубя.

наложеніемъ на нервъ дуги изъ разнородныхъ металловъ вы уже знаете, что электрическій токъ, проходя черезъ послѣдній, вызываетъ мышечное сокращеніе. Теперь мы повѣримъ животнымъ реоскопомъ, т. е. мышечнымъ препаратомъ лягушки, показанія мультипликатора относительно существованія тока между продольною поверхностью мышцы и ея поперечнымъ разрѣзомъ. Для этого отдѣляемъ отъ одной ноги m. gastrocnemius, кладемъ его на стеклянную пластинку и перерѣзываемъ пополамъ. Изъ другой ноги дѣлаемъ мышечный препаратъ и прикладываемъ его нервъ къ которой-нибудь изъ половинъ икряной мышцы, такъ чтобъ онъ касался продольной поверхности и поперечнаго разрѣза. Вы видите, что при каждомъ такомъ соприкосновеніи происходитъ сокращеніе препарата [1]). Опредѣлить этимъ путемъ существованіе тока между различными точками продольной поверхности мышцы нельзя лишь потому, что токи эти слишкомъ слабы, чтобы вызвать мышечное сокращеніе препарата.

Всѣ изложенныя явленія мышечнаго тока существуютъ въ той же самой формѣ на мышцахъ человѣка (въ теченіе курса физіологіи я имѣлъ случай показать гг. студентамъ 2-го курса явленія мышечнаго и нервнаго тока на соотвѣтствующихъ органахъ ампутированной верхней конечности человѣка, въ которой предплечіе было совершенно здорово; операція происходила неподалеку отъ физіологической аудиторіи во время моей лекціи и часть попала ко мнѣ на столъ минуты черезъ 3 послѣ отнятія), кролика, голубя, ужа, черепахи, линя, рѣчнаго рака, травяной улитки и дождеваго червя. Кромѣ того, въ позвоночныхъ животныхъ они опредѣлены не только для рубчатыхъ, но и для гладкихъ мышцъ (сердце и кишки). Слѣдовательно нѣтъ сомнѣнія, что исчисленныя явленія общи мышцамъ всего животнаго царства.

Ту же самую законность въ электрическихъ явленіяхъ дю-Буа нашелъ и для нервовъ. По малости этихъ органовъ, онъ не могъ,

---

[1]) Опытъ этотъ вообще легко удается; но чтобы вполнѣ обезпечить удачу его, слѣдуетъ выждать минуты 2, 3 со времени перерѣзки нерва при отдѣленіи мышечнаго препарата отъ тѣла до начала опыта и прикладывать къ мышцѣ нервъ такъ, чтобы точка, ближайшая къ его свободному концу, приходилась на продольную поверхность мышцы. Основанія къ этому будутъ ясны впослѣдствіи.

конечно, путемъ опыта опредѣлить взаимнаго отношенія точекъ поперечнаго разрѣза въ нервѣ; но такъ какъ послѣдній во всѣхъ другихъ этектро-динамическихъ явленіяхъ тождественъ съ мышцей, то дю-Буа сдѣлалъ предположеніе и о тождествѣ ихъ поперечныхъ разрѣзовъ. Единственная разница между мышечнымъ и нервнымъ токомъ заключается лишь въ томъ, что при одинаковыхъ условіяхъ отклоненія стрѣлки, производимыя послѣднимъ, значительно слабѣе (здѣсь не принимается въ соображеніе разница причины препятствій въ цѣпи, а берется лишь голый фактъ). Слѣдовательно, если вообразимъ себѣ мышцу и нервъ цилиндрическимъ тѣломъ и разрѣжемъ его по длинѣ оси, то сумма изложенныхъ электрическихъ явленій, представляемыхъ мышцей и нервомъ, можетъ быть легко выражена шематически. На фиг. 10-й такъ и сдѣлано.

АБ—экваторъ. Пунктированныя линіи обозначаютъ токи, а стрѣлки направленія ихъ въ дугѣ мультипликатора. *СС* — центры площадей поперечныхъ разрѣзовъ.

Изъ шематической фигуры легко замѣтить, что по продольному разрѣзу токи идутъ отъ средины его въ обѣ стороны къ свободнымъ краямъ, въ поперечныхъ же отъ краевъ къ срединѣ. Слѣдовательно вообще въ мышцѣ и нервѣ токи идутъ отъ экватора въ обѣ стороны къ центрамъ площадей поперечныхъ разрѣзовъ.

V.

Токи нервныхъ массъ.—Независимость отъ нихъ мышечныхъ.—Значеніе такъ называемаго собственнаго тока лягушки.—Причина электрическихъ явленій мышцы и нерва лежитъ въ ихъ организаціи. — Невозможность измѣренія силы мышечныхъ и нервныхъ токовъ. — Вліяніе на силу мышечнаго и нервнаго токовъ мѣста приложенія концовъ мультипликатора къ мышцѣ и нерву и массы послѣднихъ.

М. Г.

Прошлый разъ вы видѣли явленія тока, представляемыя сѣдалищнымъ нервомъ лягушки. Нервъ этотъ, какъ вамъ извѣстно, смѣшанный, т. е. состоитъ изъ движущихъ и чувствующихъ волоконъ. Слѣдовательно каждый изъ васъ вправѣ спросить, тождественны ли въ электро-динамическомъ отношеніи оба вида нер-

вовъ. Для рѣшенія этаго вопроса дю-Буа подвергалъ опыту передніе и задніе корешки спиннаго мозга лягушки. Результатъ указалъ на ихъ тождество. Изъ нервовъ спеціальныхъ чувствъ былъ испытанъ имъ зрительный (какъ удобный, по длинѣ, для опыта, дю-Буа рекомендуетъ нервъ линя) и далъ тѣ же результаты. Наконецъ спинной мозгъ и головной показали то же отношеніе между точками свободной поверхности и поперечныхъ разрѣзовъ, какое существуетъ для нерва. Послѣднія изслѣдованія однако очень поверхностны и говорить о нихъ намъ больше не придется.

И такъ электрическія явленія, представляемыя нервомъ и мышцей, одинаковы. Отсюда невольно можетъ родиться мысль, что послѣднія обусловливаются, можетъ быть, нервыми, т. е., что мышечный токъ есть лишь выраженіе тока, производимаго нервами, находящимися внутри мышцы. Такое предположеніе очевидно несправедливо. Правильность распредѣленія электрическихъ токовъ по длинѣ мышечныхъ фибръ, извѣстная вамъ изъ опытовъ, требовала бы параллельности положенія внутре-мышечныхъ нервныхъ вѣтвей съ волокнами мышцъ. Этого, какъ вамъ извѣстно, не существуетъ. Кромѣ того, допустивъ мысль о нервномъ происхожденіи мышечнаго тока, слѣдовало бы ожидать, что послѣдній будетъ слабѣе перваго, потому что хотя развѣтвленіемъ нерва въ мышцѣ и увеличивается электродвигательная поверхность нервныхъ массъ, за то мясо мышцы, которое, конечно, составляетъ наибольшую часть массы этого органа, представляетъ относительно мультипликатора побочное замыканіе для нервныхъ токовъ, слѣдовательно значительно ослабляетъ часть ихъ, дѣйствующую на магнитную стрѣлку. Изъ того, что мы видѣли, скорѣе можно думать, что мышечный токъ сильнѣе нервнаго, чѣмъ наоборотъ. Мы увидимъ, наконецъ, впослѣдствіи, что не всѣ электро-динамическія явленія, представляемыя мышцей и нервомъ, тождественны.

Мышечный токъ, слѣдовательно, самостоятеленъ, и теперь мы имѣемъ право сказать, что такъ называемый собственный токъ лягушки, открытый Нобили, есть не что иное, какъ результирующій изъ сложенія частныхъ мышечныхъ токовъ на поверхности тѣла этого животнаго. Если посмотримъ, въ самомъ дѣлѣ, на лягушку, съ которой снята кожа, то легко замѣтить, что наибольшее скопленіе сухихъ жилъ лежитъ около заднихъ лапъ; слѣдова-

тельно, если одинъ изъ концовъ мультипликатора сообщенъ съ этой частью тѣла, а другой съ какою нибудь другою точкою поверхности послѣдняго, лежащею выше лапъ, то всегда существуютъ условія для полученія тока, идущаго по тѣлу лягушки отъ лапъ кверху. Сказаннаго доказать геометрическимъ построеніемъ конечно нельзя, но и сомнѣваться въ справедливости изложеннаго объясненія лягушечьяго тока едва ли возможно,—откуда иначе ему взяться?

Вотъ, м. г., тотъ рядъ знаменательныхъ фактовъ, которыми открылъ дю-Буа-Реймонъ свою знаменитую дѣятельность на поприщѣ электро-физіологіи. Обработавъ качественную сторону электро-динамическихъ явленій, представляемыхъ мышцей и нервомъ, онъ сталъ изучать и количественную и за тѣмъ приступилъ къ изслѣдованію физическихъ и физіологическихъ условій этихъ явленій. И мы послѣдуемъ за нимъ; но прежде всего обезпечимъ за собою окончательно убѣжденіе въ томъ, что причина всѣхъ видѣнныхъ нами электрическихъ явленій на мышцѣ и нервѣ лежитъ въ организаціи этихъ органовъ, а не въ формѣ опытовъ съ ними, какъ иногда думали прежде. Всякій изъ васъ, конечно, сознаетъ, что еслибъ послѣднее предположеніе было справедливо, то всѣ разобранныя нами электрическія явленія не имѣли бы ровно никакого физіологическаго смысла. Разсмотримъ же эти предположенія. Существовало мнѣніе, что электрическіе токи, показываемые мультипликаторомъ, развиваются изъ соприкосновенія животныхъ частей съ его концами. Изъ опытовъ съ нашимъ инструментомъ вы уже знаете, что на границѣ между металлическими концами мультипликатора и смачивающею ихъ жидкостью токовъ не существуетъ. На границѣ между бумажными подушками, пропитанными растворомъ сѣрнокислой окиси цинка, и подстилками, смоченными бѣлкомъ, ихъ тоже нѣтъ, потому что, вы видите, подстилки лежатъ на подушкахъ; я кладу на послѣднія замыкательную подушку (замыкаю цѣпь мультипликатора) и стрѣлка остается въ покоѣ. Токъ не развивается и изъ соприкосновенія животныхъ частей съ подстилками, потому что, еслибъ это имѣло мѣсто, то какъ объяснить отсутствіе его при сообщеніи мультипликатора съ такъ называемыми недѣятельными точками, т. е. съ двумя поперечными разрѣзами мышцы или нерва, точками ихъ продольной поверхности, лежащими симметрично относи-

тельно экватора, и пр.? Можно было бы еще думать, что токи на столько зависятъ отъ формы опытовъ, по скольку они суть результатъ молекулярныхъ измѣненій, происходящихъ въ мышцѣ и нервѣ по отдѣленіи послѣднихъ отъ тѣла, что токовъ слѣдовательно можетъ и не быть въ мышцѣ и нервѣ, когда органы эти связаны еще съ тѣломъ. Эта мысль, какъ увидимъ впослѣдствіи, когда будемъ говорить о физіологическихъ условіяхъ мышечнаго и нервнаго токовъ, несправедлива; но будь въ ней и правда, она не уничтожала бы физіологическаго интереса разобранныхъ нами явленій, потому что послѣднія все-таки имѣли бы смыслъ органическихъ процессовъ.

И такъ не въ формѣ опытовъ лежатъ причины замѣченныхъ нами на мышцѣ и нервѣ электрическихъ токовъ. Остается, слѣдовательно, искать ее въ организаціи этихъ органовъ. Нервная и мышечная ткань, на сколько послѣднюю можно разсматривать отдѣльно отъ первой, представляются по строенію не однороднымъ веществомъ, а сочетаніемъ разнородныхъ элементовъ, слѣдовательно a priori нѣтъ повода сомнѣваться въ томъ, что каждая изъ нихъ уже сама въ себѣ заключаетъ условія для развитія токовъ.

Обращаюсь теперь къ количественной сторонѣ разобранныхъ нами явленій. Прежде всего слѣдовало бы найдти способъ измѣрять силу мышечнаго и нервнаго токовъ. Это было бы очень важно для физіологіи, потому что давало бы въ руки средства опредѣлять съ точностью органическія условія мышечнаго и нервнаго токовъ во время жизни, т. е. показало бы, подъ какими вліяніями происходитъ колебаніе ихъ. Къ сожалѣнію, опредѣленія этихъ величинъ было до сихъ поръ невозможно. Вамъ извѣстно изъ физики, что для измѣренія силы токовъ есть нѣсколько пріемовъ (не забудьте при этомъ, что всякое измѣреніе даетъ величину не абсолютно, а относительно другой тождественной величины, принятой за единицу). Мѣряютъ или электролитнымъ дѣйствіемъ, напримѣръ количествомъ возстановляющагося металла на отрицательномъ электродѣ въ продолженіе опредѣленнаго времени, или по формулѣ Ома, когда извѣстна электро-двигательная сила и величина сопротивленія испытуемаго электро-двигателя, или наконецъ отклоненіемъ магнитной стрѣлки. Первый и послѣдній способы не приложимы въ нашемъ случаѣ, независимо отъ прочихъ

условій, уже по незначительности силы мышечнаго и нервнаго токовъ. Попытку опредѣлить электро-двигательную силу мышцы, сдѣланную Жюлемъ Реньо, тоже нельзя назвать удачной, потому что въ основѣ ея лежитъ ошибочное предположеніе. Въ цѣпь мультипликатора онъ вводитъ мышцу и термо-электрическую пару изъ висмута и мѣди, какъ электро-двигательную единицу. Оба электро-двигателя расположены такъ, что токи ихъ взаимно уравновѣшиваются. При этомъ онъ предполагаетъ, что со стороны мышцы, какъ со стороны термо-электрической пары, на стрѣлку дѣйствуетъ токъ во всей его цѣлости; между тѣмъ для мышцы это несправедливо. Вспомните, что мышца во всей своей толщѣ пропитана проводящею токъ жидкостью, та же жидкость смачиваетъ и всю свободную поверхность мышцы; слѣдовательно, когда къ послѣдней приложены концы мультипликатора, то въ проволоку его идетъ лишь часть тока, для остальной же побочнымъ замыканіемъ служитъ самое вещество мышцы и пропитывающая его жидкость. На этомъ основаніи часть тока, идущая по проволокѣ мультипликатора, и называется токомъ, отведеннымъ отъ мышцы или нерва. На этомъ же основаніи и нельзя приложить къ опредѣленію силы мышечнаго и нервнаго токовъ ни одного изъ способовъ, существующихъ для этого въ физикѣ, и мы осуждены, такимъ образомъ, довольствоваться показаніями магнитной стрѣлки нашего мультипликатора, когда дѣло доходитъ до опредѣленія вліяній, подъ которыми колеблется величина животно-электрическихъ токовъ. Ясно, что показаніямъ этимъ можно вѣрить лишь подъ условіемъ, когда въ двухъ сравниваемыхъ случаяхъ сумма препятствій въ цѣпи остается почти безъ измѣненія, а въ отклоненіяхъ есть значительная разница, или когда можно какой-нибудь уловкой элиминировать изъ наблюденія колебаніе величины препятствій.

Сдѣлавъ такое предостереженіе, я приступаю къ изложенію вопросовъ, играющихъ важную роль въ гипотезѣ дю-Буа-Реймона объ электро-молекулярномъ устройствѣ мышцы и нерва, именно къ опредѣленію колебаній въ силѣ мышечныхъ и нервныхъ токовъ, если измѣняется мѣсто приложенія концовъ мультипликатора по длинѣ мышцы и нерва безъ измѣненія взмимнаго разстоянія между этими концами, или если измѣняется и послѣднее. Все, что будетъ сказано въ этомъ отношеніи, равно относится къ

мышцѣ и нерву, потому что явленія, представляемыя ими, тождественны.

При опытахъ съ наложеніемъ ровно отстоящихъ другъ отъ друга концовъ мультипликатора на различныя точки по длинѣ животныхъ частей, величину сопротивленія въ цѣпи можно конечно считать приблизительно постоянной, слѣдовательно указанія стрѣлки можно переносить на силу тока. Форма этихъ опытовъ очень проста. На подстилки, пропитанныя бѣлкомъ, кладутся тонкія стеклянныя пластинки, употребляемыя для покрыванія микроскопическихъ объектовъ, такимъ образомъ, чтобы внутренній край этихъ подстилокъ оставался свободнымъ. Черезъ это мышца или нервъ приходятъ лишь незначительною величиною своей поверхности, можно сказать линіею, въ соприкосновеніе съ концами мультипликатора. Изъ мышцъ лягушки для этихъ опытовъ всего удобнѣе бедренныя: sartorius, rectus int. и semimembranosus (Кювье). При достаточной длинѣ онѣ имѣютъ достаточно правильную призматическую форму. Изслѣдуемая часть кладется первоначально на концы мультипликатора точками, симметрично лежащими относительно экватора. Стрѣлка тогда, какъ знаете, въ покоѣ. Начинаютъ передвигать часть по подушкамъ инструмента. Стрѣлка начинаетъ отклоняться, показывая токъ въ дугѣ мультипликатора отъ точки ближайшей къ экватору къ болѣе удаленной отъ него. Сначала отклоненіе очень незначительно, едва замѣтно; съ приближеніемъ же концовъ мультипликатора къ свободному краю мышцы или нерва отклоненіе постоянно усиливается. Вы уже знаете, что если при дальнѣйшемъ передвиженіи одинъ изъ концовъ мультипликатора коснется поперечнаго разрѣза, то отклоненіе разомъ значительно усиливается. Тотъ же рядъ явленій представляетъ и искуственная продольная поверхность мышцы. Съ точками поперечныхъ разрѣзовъ подобныхъ опытовъ дѣлано не было и они едва ли возможны, потому что токи здѣсь вообще очень слабы и приготовленіе совершенно ровнаго поперечнаго разрѣза, которое здѣсь конечно необходимо, крайне трудно.

Въ опытахъ съ наложеніемъ на животныя части неровно отстоящихъ концовъ мультипликатора, сумма препятствій въ цѣпи измѣняется такимъ образомъ, что съ увеличеніемъ разстоянія между точками приложенія ростетъ и препятствіе.

Это обстоятельство, какъ сейчасъ увидимъ, для одной половины нашихъ опытовъ даже выгодно, потому что имъ подкрѣпляется доказательная сила показаній магнитной стрѣлки. Для другой же половины опытовъ мы употребимъ въ дѣло уловку, элиминирующую вліяніе измѣненія препятствій. Форма опыта такая: подстилки со стеклами; изслѣдуемая часть кладется на подушки, отстоящія другъ отъ друга миллиметра на 3, на 4, такъ чтобы одна изъ нихъ касалась поперечнаго разрѣза или точки продольной поверхности близъ него. Стаканъ съ другою подушкою двигается, а эта остается въ покоѣ; слѣдовательно подвижная точка идетъ отъ свободнаго конца мышцы или нерва къ ихъ экватору. Вы видите, на опытѣ, что при движеніи стакана, не смотря на увеличеніе суммы препятствій въ цѣпи, отклоненіе стрѣлки возрастаетъ. Но возрастаніе это продолжается лишь до тѣхъ поръ, пока подвижная точка не дошла до экватора: какъ только она перешла за него, то отклоненія становятся меньше и меньше и наконецъ дѣлаются нулемъ, когда другая подушка коснется точки симметричной мѣсту касанія первой. Чтобы рѣшить, не происходитъ ли послѣднее уменьшеніе отъ возрастанія суммы препятствій въ цѣпи, и вообще для элиминированія вліянія колебаній послѣдней величины изъ сравнительныхъ животно-электрическихъ опытовъ, употребляется такъ называемый способъ компенсаціи. Въ цѣпь мультипликатора вводятся сравниваемые электро-возбудители, такъ чтобы токи ихъ имѣли противоположное направленіе; тогда для каждаго изъ нихъ отдѣльно сумма препятствій въ цѣпи остается постоянной, слѣдовательно показанія стрѣлки будутъ находиться въ зависимости лишь отъ разницы въ величинѣ электро-возбудительныхъ силъ. Та же самая мысль лежитъ, какъ видите, въ основѣ описанной выше попытки Жюля Реньо опредѣлить величину электродвигательной силы мышцы, но тамъ она была неприложима, здѣсь же приложеніе ея возможно, потому что мы сравниваемъ между собою отведенные токи двухъ мышцъ или двухъ нервовъ. Для этихъ опытовъ между отодвинутыми другъ отъ друга болѣе обыкновеннаго подушками мультипликатора помѣщается на изолированной подставкѣ, въ одной высотѣ съ ними, промежуточная бумажная подушка параллелепипидической формы, покрытая, какъ и первыя, бѣлочными подстилками со стекломъ. Разстояніе промежуточной подушки отъ каждой изъ главныхъ опредѣляется длиною ис-

пытуемой животной части. Берутся двѣ одноименныя мышцы или два одноименныхъ нерва отъ одной и той же лягушки (при этомъ условіи величины электро-возбудительныхъ силъ въ обоихъ объектахъ приблизительно одинаковы) и размѣщаются, примѣрно, слѣдующимъ образомъ: лѣвая подушка — поперечный разрѣзъ мышцы или нерва: лѣвый край промежуточной подушки—точка пересѣченія экватора съ продольною поверхностью мышцы или нерва; правый край промежуточной подушки—точка продольной поверхности другой мышцы или другаго нерва, лежащая за экваторомъ относительно поперечнаго разрѣза, который прилежитъ къ правой подушкѣ. Мышцу или нервъ слѣва мы назовемъ первыми, а тѣ же части справа — вторыми. Ясно, что при такомъ расположеніи электро-возбудителей токи, развиваемые ими, идутъ на встрѣчу другъ другу, и слѣдовательно вычитаются. Стало быть, если замѣченное нами уменьшеніе отклоненія стрѣлки при переходѣ подвижной точки за экваторъ, когда другая оставалась въ покоѣ, зависѣло отъ наростанія суммы препятствій въ цѣпи, въ сущности же при этомъ условіи сила тока возрастала, то мы должны теперь получить отклоненіе стрѣлки въ сторону, соотвѣтствующую току, развиваемому вторымъ объектомъ. Этого, какъ видите, нѣтъ и никогда не бываетъ; напротивъ, стрѣлка отклонена въ смыслѣ тока перваго объекта, и отклоненіе это тѣмъ сильнѣе, чѣмъ далѣе за экваторомъ лежитъ точка продольной поверхности втораго. И такъ нѣтъ сомнѣнія, что комбинація, дающая въ каждой мышцѣ и въ каждомъ нервѣ наибольшее отклоненіе стрѣлки, соотвѣтствуетъ поперечному разрѣзу этихъ органовъ и точкѣ пересѣченія экватора съ ихъ продольною поверхностью

Теперь, когда для каждой мышцы и нерва найдена самая дѣятельная электро-двигательная комбинація, можно приступить къ рѣшенію вопросовъ, въ какой связи стоитъ сила мышечнаго и нервнаго токовъ съ массой развивающихъ ихъ органовъ, т. е. съ длиной и толщиной мышцъ и нервовъ.

Посмотримъ прежде, какъ вліяетъ длина. Для этого надо исключить вліяніе различія величины поперечныхъ разрѣзовъ, слѣдовательно брать одноименныя части (изъ мышцъ лучше всего бедренныя) отъ обѣихъ ногъ лягушки; одну изъ нихъ дѣлать короче и сравнивать силы токовъ при наиболѣе дѣятельныхъ комбинаціяхъ посредствомъ способа компенсаціи. При этихъ опытахъ попереч-

ные разрѣзы слѣдуетъ дѣлать съ особенною тщательностью, и потому съ мышцами они возможны лишь въ кабинетѣ, на нервахъ же легко удаются. Длиннѣйшая мышца и длиннѣйшій нервъ даютъ всегда большее отклоненіе магнитной стрѣлки. На этомъ основаніи можно думать, что электро-двигательные элементы мышцы и нерва расположены по длинѣ этихъ органовъ подобнымъ же образомъ, какъ такіе же элементы въ вольтовомъ столбѣ, для котораго удлиненіе совпадаетъ съ увеличеніемъ числа электро-возбудителей (разумѣется, если толщина элементовъ остается неизмѣнной), слѣдовательно и съ усиленіемъ тока. Можно думать послѣ этого, что если ввести въ кругъ мультипликатора не одну, а цѣпь мышцъ, расположенныхъ такъ, что поперечный или продольный разрѣзъ каждой предъидущей части касается съ продольнымъ или поперечнымъ разрѣзомъ каждой послѣдующей, то отклоненіе стрѣлки должно усиливаться. Это въ самомъ дѣлѣ и имѣетъ мѣсто, какъ показали опыты Нобили и Маттеуччи. Но усиленію этого эффекта съ умноженіемъ мышечныхъ элементовъ цѣпи существуетъ, конечно, предѣлъ, который данъ отношеніемъ между величиною сопротивленія въ электро-двигательной цѣпи и въ замыкающей ее дугѣ мультипликатора.

Для рѣшенія вопроса о связи толщины мышцы съ силою ея тока очень удобенъ препаратъ, состоящій ex adductore magno cum semimembranoso (Кювье) — мышцъ, связанныхъ у лягушки посредствомъ влагалища какъ бы въ одну. Эта сложная мышца кладется на концы мультипликатора съ одной стороны, а съ другой одна изъ составляющихъ ее половинъ. Кладутъ съ обѣихъ сторонъ самыми дѣятельными точками и сравниваютъ силы токовъ посредствомъ компенсаціи. Перевѣсъ тока всегда бываетъ на сторонѣ толстѣйшей мышцы. Чтобы рѣшить, имѣетъ ли мышца и здѣсь по расположенію своихъ дѣятельныхъ элементовъ аналогію съ вольтовымъ столбомъ, дю-Буа долженъ былъ испытать, остается ли перевѣсъ относительно силы тока на сторонѣ толстѣйшей мышцы и въ томъ случаѣ, если препятствіе въ дугѣ мультипликатора сдѣлано несравненно большимъ противъ того, которое существуетъ внутри электро-возбудителя, или нѣтъ. Вамъ, конечно, извѣстно изъ физики, что если препятствіе внѣ электро-возбудителя значительно превышаетъ существующее внутри его, то увеличеніе электро-возбудительной поверхности не усиливаетъ

эффекта цѣпи. Стало быть, если мышца представляетъ аналогію съ вольтовымъ столбомъ и относительно поперечнаго разрѣза, то перевѣсъ толстой мышцы надъ тонкою можно уничтожить введеніемъ въ дугу мультипликатора какого-нибудь значительнаго препятствія, напр. тонкой, длинной нити, смоченной растворомъ мѣднаго купороса. Дю-Буа такъ и дѣлалъ, но перевѣсъ на сторонѣ толстой мышцы все-таки оставался.

И такъ, относительно поперечнаго разрѣза мышца въ устройствѣ своемъ не представляетъ аналогіи съ вольтовымъ столбомъ.

VI

Гипотеза дю-Буа-Реймона объ электро-молекулярномъ устройствѣ мышцы и нерва.

М. Г.

Если вы бросите взглядъ на двѣ послѣднія лекціи, то легко убѣдитесь, что до сихъ поръ мы констатировали лишь фактъ о присутствіи электрическихъ токовъ въ животномъ тѣлѣ, нашли въ мышцахъ и нервахъ исключительныя мѣста ихъ образованія и наконецъ опредѣлили, на сколько возможно, законность этихъ явленій. Мы разбирали, слѣдовательно, до сихъ поръ фактическую сторону вопроса объ электрическихъ явленіяхъ, представляемыхъ мышцей и нервомъ въ ихъ покойномъ состояніи. Неудивительно послѣ этого, что бесѣды наши отличались до сихъ поръ бѣдностью выводовъ. Теперь же настало время и для послѣднихъ. Ближайшей нашей задачей будетъ опредѣленіе физическаго и физіологическаго значенія разобранныхъ нами явленій—говорю физическаго и физіологическаго, потому что мы, къ сожалѣнію, еще далеки отъ того времени, когда изъ физическихъ свойствъ органа можно будетъ вывести полную исторію его физіологической дѣятельности.

Опредѣлить физическое значеніе электрическихъ явленій, представляемыхъ мышцей и нервомъ, значитъ найдти въ послѣднихъ физическія условія для развитія этихъ явленій въ той самой формѣ, какъ они представляются намъ по своему электро-магнитному дѣйствію, т. е. по вліянію ихъ на магнитную стрѣлку. Задача здѣсь въ сущности та же, что нѣкогда для Ампера вопросъ объ устройствѣ магнита въ электродвигательномъ отношеніи, такъ

блестяще рѣшенный имъ на основанiи уже извѣстныхъ тогда въ наукѣ фактовъ о взаимномъ отношенiи между электродинамическими и магнитными явленiями. Но здѣсь трудностей рѣшенiя вопроса значительно больше: 1) электродинамическiя явленiя мышцъ и нервовъ разнообразнѣе тѣхъ, которыя представляетъ намъ магнитъ, слѣдовательно гипотеза наша должна удовлетворять большему числу условiй; 2) явленiя наши, какъ увидимъ впослѣдствiи, подвижнѣе магнитныхъ; наконецъ 3) мы не имѣемъ, какъ уже не разъ было замѣчено, мѣры для разобранныхъ нами явленiй. На этихъ основанiяхъ нельзя и ожидать, чтобы гипотеза дю-Буа могла равняться по своей законченности и степени истинности съ знаменитой амперовской теорiей магнита — она не удовлетворяетъ многимъ условiямъ; но въ самомъ развитiи ея лежитъ столько таланта, столько логической послѣдовательности, что я считаю долгомъ представить ее вамъ, какъ образецъ физическаго метода изслѣдованiя въ физiологiи; тѣмъболѣе, что въ нашей наукѣ это до сихъ поръ единственный примѣръ, гдѣ отъ конкретныхъ явленiй, представляемыхъ органомъ, можно перейдти съ нѣкоторою вѣроятностью къ его молекулярному устройству.

Доказавъ въ прошлыя лекцiи, что причина электрическихъ явленiй нервовъ и мышцъ не лежитъ въ сочетанiи различныхъ тканей, составляющихъ эти органы, и не въ формѣ опытовъ съ послѣдними, мы, естественно, были приведены къ мысли, что причина эта лежитъ въ устройствѣ самой мышечной и нервной ткани. И такъ, какъ вамъ уже извѣстно, что по опытамъ дю-Буа первичное мышечное вволокно и части нерва, расщепленнаго по длинѣ, представляютъ въ сущности тѣ же явленiи, что и цѣлостные органы, то условiя для развитiя токовъ, конечно, нужно искать въ организацiи первичныхъ волоконъ мышцы и нерва. Говорить здѣсь о микроскопическомъ строенiи этихъ элементовъ было бы безполезно, потому что связать между собою ихъ анатомическую форму и электрическiя свойства нѣтъ никакой возможности; тѣмъ болѣе, что и воззрѣнiя наши на форму органовъ не совсѣмъ еще установились. Притомъ ниже вы увидите, что есть обстоятельства, заставляющiя искать электродвигательныя противоположности въ элементахъ мышцы и нерва безконечно малыхъ, не подлежащихъ, слѣдовательно, микроскопическому изслѣдованiю.

И такъ обратимся снова къ вопросу: какiя средства представля-

лись дю-Буа для опредѣленія устройства мышцы и нерва въ электродвигательномъ отношеніи? Конечно, одно: выстроить такую шематическую электродвигательную комбинацію, которая удовлетворяла бы всѣмъ явленіямъ, представляемымъ мышцей и нервомъ. Единственный возможный для этого путь былъ — экспериментальный.

Первое условіе, которому должна была удовлетворять шема, состояло въ томъ, чтобы электровозбудители были погружены въ слой жидкаго проводника. Вы помните, что для мышцы и нерва это обстоятельство всегда имѣетъ мѣсто, потому что они всегда во всей своей толщѣ пропитаны жидкостью. Такимъ обраэомъ дю-Буа пришлось заниматься изслѣдованіемъ сложнаго вопроса о движеніи электрическихъ токовъ по жидкимъ проводникамъ, имѣющимъ 3 измѣренія, когда въ нихъ погружены электровозбудители. Чтобы облегчить вамъ возможность слѣдить за рядомъ опытовъ дю-Буа и судить о значеніи ихъ въ дѣлѣ рѣшенія основной задачи, я долженъ предварительно сказать нѣсколько словъ о движеніи электрическихъ токовъ по линейнымъ проводникамъ вообще. Приметъ тонкую металлическую проволоку, согнутую въ кольцо, за линію. Движеніе электричества по проволокѣ станемъ разсматривать, для бо́льшей ясности, какъ движеніе электрическихъ жидкостей. Вамъ извѣстно, что тѣла, по которымъ движется электричество, представляютъ бо́льшее или меньшее сопротивленіе этому движенію; и отъ чего бы ни зависѣло это сопротивленіе, во всякомъ случаѣ ясно, что если въ проводникѣ движеніе должно продолжаться, то необходимо въ какой нибудь точкѣ его присутствіе движущей силы. Послѣднюю можно искать, напримѣръ, въ притягательныхъ и оттолкательныхъ силахъ электрическихъ жидкостей, положительной и отрицательной, которыя мы вообразимъ себѣ распредѣленными по проводнику такимъ образомъ, что наибо́льшее количество положительной матеріи скопилось у одного конца проводника и идетъ, постепенно убывая, къ другому, гдѣ она $=0$; для отрицательной жидкости то же самое распредѣленіе, но только въ обратномъ направленіи (фиг. 11-я) [1]. Ясно, что при этомъ условіи каждая частичка положительной жидкости, гдѣ

[1]) На фигурѣ это выражено шематически тѣмъ, что плюсы и минусы идутъ на встрѣчу другъ другу, постоянно уменьшаясь.

бы она ни была взята по длинѣ проводника, будетъ двигаться въ направленіи стрѣлки *a*, потому что впереди ея сумма притягательныхъ силъ больше, чѣмъ позади, сумма же оттолкательныхъ, наоборотъ, меньше; то же самое, но въ обратномъ направленіи, имѣетъ мѣсто и для всякой частицы отрицательной жидкости. Движеніе жидкостей по проводнику будетъ слѣдовательно повсемѣстное; но оно, подобно разряду лейденской банки, будетъ длиться лишь мгновеніе, потому что прекращается, коль скоро разнородныя электрическія жидкости распредѣлятся по проводнику такимъ образомъ, что въ каждой точкѣ по длинѣ его напряженія жидкостей, т. е. количества ихъ, будутъ равны. Чтобы сдѣлать движеніе продолжительнымъ, нужно слѣдовательно ввести въ какую-нибудь точку *A* проводника силу, которая, вслѣдъ за уравновѣшеніемъ разнородныхъ электрическихъ напряженій по длинѣ его, тотчасъ родила бы снова описанное нами распредѣленіе электрическихъ жидкостей. Тогда движеніе было бы непрерывнымъ рядомъ электрическихъ разрядовъ и казалось бы для нашихъ тупыхъ чувствъ неперемежающимся лишь потому, что разряды эти слѣдовали бы другъ за другомъ въ чрезвычайно короткіе промежутки времени. Присутствіе такой силы въ проводникѣ придало бы движенію, сверхъ продолжительности, характеръ постоянства: это значитъ, въ данную единицу времени черезъ одну и ту же точку проводника проходило бы всегда одно и то же количество электрической жидкости, слѣдовательно электрическія напряженія въ различныхъ точкахъ проводника оставались бы постоянными. Примѣръ описанной нами силы, которую называютъ электро-возбудительною или электродвигательною, представляютъ въ гальванической парѣ тѣ, которыя дѣйствуютъ на границахъ соприкосновенія металловъ съ жидкостью. Если мы представимъ себѣ проводникъ состоящимъ изъ многихъ параллельныхъ линій, то сумма описанныхъ явленій остается въ сущности безъ измѣненія; но тогда поперечный разрѣзъ проводника будетъ представлять не точку, а плоскость; слѣдовательно, чтобы движеніе было въ немъ постоянно, необходимо допустить равенство электрическаго напряженія для всѣхъ точекъ, лежащихъ въ этой плоскости; послѣднія и называются поэтому изоэлектрическими.

Резюмируя все сказанное выводимъ, что движеніе электрическаго тока по проводнику происходитъ отъ точки бо́льшаго на-

пряженія къ точкѣ меньшаго и бываетъ постоянно лишь подъ условіемъ, если величина напряженія каждой точки проводника абсолютно и относительно остается неизмѣнною.

Теперь мы можемъ приступить къ описанію опытовъ дю-Буа. Онъ взялъ двѣ одинаковыя по величинѣ четырехугольныя пластинки изъ мѣди и цинка, помѣстилъ ихъ въ стеклянный четырехугольный стаканъ, такъ чтобы онѣ совершенно покрывали его дно и касались въ одной линіи другъ съ другомъ. Поверхъ пластинокъ налилъ слабаго воднаго раствора сѣрной кислоты. При этомъ, какъ видите, по жидкости проходитъ система электрическихъ токовъ, потому что, погружая въ нее концы мультипликатора [1]), мы получаемъ отклоненіе стрѣлки. Отклоненіе это, какъ легко замѣтить, при одинаковой глубинѣ погруженія и неизмѣнности разстоянія концовъ мультипликатора между собою всего сильнѣе, когда концы лежатъ симметрично по обѣ стороны линіи касанія цинка и мѣди. Съ удаленіемъ отъ послѣдней въ обѣ стороны отклоненія постепенно ослабѣваютъ. Если при несимметричности положенія концовъ мультипликатора относительно срединной линіи разстояніе между ними увеличивается, то иногда получается усиленіе отклоненія, иногда нѣтъ. Рядъ этихъ фактовъ былъ объясненъ уже дю-Буа, и впослѣдствіи справедливость его объясненій вполнѣ доказана Гельмгольцомъ. Дѣло здѣсь такого рода. Металлическія пластинки въ мѣстахъ касанія съ жидкостью представляютъ электро-возбудительныя поверхности; электрическія напряженія точекъ, лежащихъ въ этихъ поверхностяхъ, отдѣльно равны между собою; слѣдовательно эти первыя—двѣ изоэлектрическія поверхности наибольшаго и наименьшаго напряженія (мы разсматриваемъ лишь положительный токъ, идущій отъ цинка къ мѣди). Прочія изоэлектрическія поверхности должны имѣть приблизительно направленіе точечныхъ линій (фиг. 12; на чертежѣ линіи эти изображаютъ пересѣченіе изоэлектрическихъ поверхностей съ плоскостью бумаги); кривыя же распространенія токовъ по жидкости должны имѣть приблизительно форму сплошныхъ кривыхъ линій чертежа. Къ такому воззрѣнію приводитъ насъ

---

[1]) Для этихъ опытовъ чувствительный инструментъ дю-Буа употреблять не слѣдуетъ, потому что токи относительно сильны, поэтому при дѣйствіи ихъ на стрѣлку легко можетъ пострадать астазія послѣдней.

убѣжденіе въ необходимости симметричнаго распредѣленія токовъ по жидкости, вслѣдствіе симметричности самыхъ пластинокъ, кромѣ того слѣдующій простой и наглядный опытъ. Вотъ десть пропускной бумаги, смоченная воднымъ растворомъ сѣрнокислой окиси цинка и лежащая на стеклянномъ листѣ. Къ одному изъ краевъ ея близъ средины я прикладываю цинковые концы электродовъ отъ вторичной спирали индукціоннаго аппарата. Пропускаю черезъ бумагу перерывистый токъ. Ясно, что путей прохожденія послѣднему по поверхности бумаги можетъ быть безчисленное множество. Есть возможность доказать однако, что эти пути должны имѣть приблизительно форму кривыхъ, изображенную на фиг. 13. Повѣрьте мнѣ пока на-слово, что перерывистый токъ, приложенный къ двумъ точкамъ по длинѣ нерва, производитъ очень легко продолжительное сокращеніе въ соотвѣтствующей нерву мышцѣ; если же токъ идетъ поперегъ продольной оси нерва, то сокращенія не бываетъ. Ясно, что если предположеніе наше справедливо, то при положеніи нерва въ направленіи линіи *ab* сокращенія не должно быть, или оно должно быть слабо (потому что положить нервъ такъ, чтобы кривыя распространенія токовъ пересѣкали его дѣйствительно перпендикулярно къ продольной оси, очень трудно); напротивъ, оно должно являться всякій разъ, когда нервъ положенъ въ направленіи линій *cd* и *ef*. Вы видите, что это въ самомъ дѣлѣ такъ. Слѣдовательно процессъ распространенія тококъ по жидкому проводнику и положеніе изоэлектрическихъ поверхностей дѣйствительно подобно тому, которое изображено на фиг. 12. Отсюда уже ясно слѣдуетъ, что разница въ величинахъ напряженія двухъ равноотстоящихъ другъ отъ друга изоэлектрическихъ кривыхъ (т. е. линій пересѣченія поверхностей съ плоскостью бумаги) тѣмъ больше, чѣмъ короче эти кривыя, слѣдовательно она ростетъ съ приближеніемъ отъ краевъ жидкости къ линіи прикасанія металловъ, и достигаетъ maximum, когда соотвѣтствующія точки стоятъ симметрично относительно этой линіи. Если прибавить къ сказанному еще выводы, полученные Гельмгольцемъ при изученіи явленій наложенія линейныхъ проводниковъ на поверхность тѣлесныхъ, черезъ которые идетъ система электрическихъ токовъ, то и объяснятся всѣ электро-магнитныя явленія, замѣченныя дю-Буа на пластинкахъ мѣди и цинка, погруженныхъ въ жидкость. Гельмгольцъ доказалъ аналити-

чески и подтвердилъ путемъ опыта слѣдующее положеніе: если линейный проводникъ извѣстной величины препятствія w приложенъ къ двумъ точкамъ поверхности тѣлеснаго, въ которомъ величина препятствія$=W$ и черезъ который идетъ система токовъ, то концы перваго непремѣнно опираются на точки двухъ изоэлектрическихъ плоскостей разнаго напряженія; если послѣднія величины, выраженныя числами u и v, принять за величины электродвигательныхъ силъ, то сила тока, отведеннаго линейнымъ проводникомъ отъ тѣлеснаго, будетъ равна разности этихъ величинъ, раздѣленной на сумму препятствій въ системѣ проводниковъ. Въ нашемъ случаѣ будетъ $S=\frac{u-v}{W+w}$. Теперь ясно, что съ передвиганіемъ дуги B отъ края сосуда къ срединѣ его S (вмѣстѣ съ тѣмъ, конечно, и отклоненіе стрѣлки) должно рости, потому что съ этимъ передвиганіемъ ростетъ числитель; ясно, что при положеніи дуги B симметричномъ относительно срединной линіи S должно имѣть наибольшую величину. Понятно также, почему съ увеличеніемъ разстоянія между ножками дуги B при несимметричности ихъ положенія относительно срединной линіи S иногда ростетъ, иногда нѣтъ: при этомъ условіи всегда увеличивается числитель, но вмѣстѣ съ тѣмъ ростетъ и знаменатель, вслѣдствіе увеличиванія W (фиг. 14-я).

Изслѣдовавъ сочетаніе двухъ металлическихъ пластинокъ, дю-Буа беретъ ихъ четыре и кладетъ на дно сосуда другъ подлѣ друга такимъ образомъ, что цинковыя лежатъ въ срединѣ, а мѣдныя по бокамъ. При этомъ сложная цинковая поверхность вдвое больше каждой изъ мѣдныхъ. Мультипликаторъ указываетъ, что здѣсь по жидкости проходятъ двѣ отдѣльныхъ системы токовъ, и каждая изъ нихъ совершенно подобна той, которая существуетъ для одной пары пластинокъ. При положеніи концовъ мультипликатора въ жидкости, симметричномъ относительно срединной линіи сложной цинковой поверхности, стрѣлка остается въ покоѣ, что указываетъ на равенство величинъ напряженія въ точкахъ приложенія концовъ мультипликатора. Простой взглядъ на фиг. 15 убѣждаетъ въ этомъ. Если концы мультипликатора опираются на точки несимметричныя относительно срединной линіи сложной цинковой поверхности, то въ дугѣ мультипликатора является токъ отъ точки ближайшей къ этой линіи къ точкѣ болѣе удаленной отъ нея.

Причина этому бо́льшая величина напряженія въ первой точкѣ (фиг. 15 опять объясняетъ это вполнѣ). Наконецъ и здѣсь по поверхности жидкости въ каждой изъ ея половинъ есть два положенія, при которыхъ отклоненіе стрѣлки наибольшее, и каждая изъ нихъ соотвѣтствуетъ симметричному положенію концовъ мультипликатора относительно линіи соприкасанія цинка съ мѣдью. Изложенныя электро-магнитныя явленія уже достаточно доказываютъ, что токи, существующіе въ жидкости, распредѣлены въ ней дѣйствительно въ двѣ отдѣльныя системы. Но мы убѣждаемся, кромѣ того, въ необходимости такого распредѣленія слѣдующими простыми разсужденіями. Вообразимъ себѣ вертикальную плоскость, которая противъ средины сложной цинковой поверхности дѣлитъ массу жидкости пополамъ. На фиг. 16 въ линіи *AA* видно пересѣченіе ея съ плоскостью бумаги. Ясно, что эту плоскость будутъ прорѣзывать токи, если они переходятъ съ одной половины жидкости на другую. Ясно также, какъ показываютъ кривыя *ab* и *a'b'*, *cd* и *c'd'*, что для каждой комбинаціи мѣди и цинка одной половины съ цинкомъ и мѣдью другой существуетъ другая симметричная и севершенно подобная первой, посылающая по жидкости токъ въ противоположномъ направленіи первой. Эти симметричные, противоположные по знаку, токи пересѣкутъ плоскость *AA* непремѣнно въ одной точкѣ; слѣдовательно всѣ точки послѣдней будутъ имѣть электрическое напряженіе=0. Это и значитъ, что система токовъ не будетъ переходить изъ одной половины въ другую, потому что плоскость, въ которой всѣ точки имѣютъ нулевое напряженіе, равнозначуща съ изолирующей перегородкой, которая, конечно, предупреждала бы смѣшеніе токовъ двухъ половинъ.

Если въ разобранномъ сочетаніи двойной пары металлическихъ пластинокъ мѣдныя будутъ согнуты подъ прямымъ угломъ относительно цинковыхъ, то существенныхъ измѣненій въ электрическихъ явленіяхъ не произойдетъ. При положеніи концовъ мультипликатора симметричномъ относительно срединной линіи сложной цинковой поверхности, тока не будетъ. Напротивъ, отклоненіе получится наибо́льшее, если одинъ конецъ мультипликатора будетъ стоять противъ цинка, а другой противъ сосѣдней мѣди. То же будетъ, если сочетаемъ между собою двѣ сложныя цинковыя пластинки съ изогнутыми мѣдными такъ, какъ это показано въ фигу-

рѣ 17. Возможность перехода отъ послѣдняго сочетанія къ формѣ цилиндра, у котораго боковая поверхность цинковая, а основанія мѣдныя, уже не требуетъ доказательства, потому что фиг. 17-я можетъ выражать одинаково и разрѣзъ куба по одной изъ его осей, и продольный разрѣзъ цилиндра.

На послѣдней формѣ мы должны нѣкоторое время остановиться, потому что въ электрическомъ отношеніи она представляетъ аналогію съ призматическимъ отрѣзкомъ мышцы или нерва, если продольную поверхность послѣднихъ сравнить съ цинковою цилиндра, а поперечные разрѣзы этихъ органовъ съ его мѣдными основаніями.

VII.

Продолженіе прошлой лекціи. — Критика электро-молекулярной гипотезы дю-Буа.

М. Г.

Подъ конецъ прошлой лекціи было упомянуто, что между мѣднымъ цилиндромъ, котораго боковая поверхность покрыта цинкомъ, и призматическимъ отрѣзкомъ мышцы или нерва существуетъ аналогія относительно электрическихъ явленій Въ доказательство этого предлагаю сравнить извѣстное уже вамъ шематическое изображеніе (фиг. 10-я) системы токовъ, отведенныхъ отъ мышцы и нерва, съ системою, получаемою отъ цилиндра и представленною на чертежѣ 18-мъ. Здѣсь ломанная линія *MNQP* обозначаетъ границу жидкаго проводника; точечныя линіи — слѣды изоэлектрическихъ плоскостей; сплошныя кривыя линіи — пути распространенія токовъ по жидкости; стрѣлки на кривыхъ — направленіе токовъ. Всѣ четыре системы токовъ идутъ вообще отъ techniques срединъ цинковыхъ поверхностей (отъ экватора на мышцахъ и нервахъ) къ срединамъ мѣдныхъ (къ срединамъ поперечныхъ разрѣзовъ на мышцахъ и нервахъ). Сочетанія точекъ, не дающія тока, здѣсь тѣ же, что и въ животныхъ частяхъ; они соотвѣтствуютъ положенію концовъ мультипликатора, симметричному относительно срединъ цинковыхъ поверхностей, напр. bb', срединъ мѣдныхъ, напр. b_1b_2, двумъ симметрично-лежащимъ

точкамъ верхней и нижней цинковой поверхности, напр. aa_2 (это сочетаніе соотвѣтствуетъ тому случаю, когда къ продольной поверхности мышцы приложены концы мультипликатора въ плоскости перпендикулярной къ направленію фибръ), и такимъ же точкамъ правой и лѣвой мѣдной — a_1a_3. Чтобы выяснить себѣ направленіе токовъ, отведенныхъ отдѣльно отъ цинковой и мѣдной поверхностей, не нужно забывать, что по поверхности жидкаго проводника наибольшее положительное напряженіе существуетъ въ точкахъ a и a_2; отсюда въ обѣ стороны оно постепенно слабѣетъ и въ точкахъ a_1 и a_3 имѣетъ наименьшую величину. Поэтому ясно, что при сочетаніи N съ b и c, въ дугѣ мультипликатора получается въ первомъ случаѣ токъ отъ b къ N (отъ точки ближайшей къ экватору къ точкѣ болѣе удаленной отъ него), во второмъ отъ N къ c (отъ точки болѣе удаленной отъ средины поперечнаго разрѣза къ точкѣ ближайшей къ ней). Ясно также, что при сочетаніи N съ a токъ долженъ быть сильнѣе, чѣмъ при сочетаніи первой точки съ c, b, b', c' (на мышцѣ и нервѣ вы видѣли, что съ увеличеніемъ разстоянія между концами мультипликатора, приложенными къ продольной поверхности животныхъ частей, отклоненіе стрѣлки усиливается лишь до тѣхъ поръ, пока одинъ изъ концовъ не перешелъ за экваторъ). Наконецъ понятно, что самое дѣятельное сочетаніе соотвѣтствуетъ положенію одного конца мультипликатора надъ цинковою поверхностью (точкой продольнаго разрѣза) и мѣдною (точкой поперечнаго).

Но здѣсь и кончается аналогія. Для цилиндра сумма описанныхъ явленій существуетъ лишь подъ условіемъ равенства, или по крайней мѣрѣ приблизительнаго равенства между его высотой и діаметромъ основанія. Съ увеличеніемъ первой насчетъ втораго, какъ это существуетъ для тонкаго, длиннаго отрѣзка нерва или первичнаго мышечнаго волокна, если и не уничтожается симметричность расположенія системъ токовъ, то во всякомъ случаѣ изоэлектрическія плоскости надъ поверхностью цинка принимаютъ столь пологое направленіе, что токи, отведенные отъ этой поверхности, будутъ чрезвычайно слабы, и тѣмъ слабѣе, чѣмъ высота цилиндра, при прочихъ равныхъ условіяхъ, болѣе (фиг. 19-я). Для нерва же и мышцы мы видѣли противное. Объясненія этому противорѣчію не можетъ быть въ томъ, что здѣсь мы имѣемъ дѣло съ металлическими электро-возбудителями; тамъ

же эту роль играютъ такъ называемые проводники 2-го класса. Если принять расположеніе электро-возбудителей въ мышцѣ и нервѣ за совершенно тождественное описанному нами сочетанію металлическихъ поверхностей, то различія въ явленіяхъ теоретически могутъ быть въ обоихъ случаяхъ лишь количественными, по скольку разнятся между собою величины электро-возбудительныхъ силъ и сопротивленій. И, конечно, всякій согласится, безъ дальнѣйшихъ доказательствъ, что напряженность электрическихъ явленій должна быть на сторонѣ металлическихъ электро-возбудителей; слѣдовательно, что̀ существуетъ для нихъ, то еще въ бо̀льшей степени должно существовать для мышцъ и нервовъ.

И такъ первичное мышечное и нервное волокна имѣютъ въ электродвигательномъ отношеніи иное устройство, чѣмъ мѣдный цилиндръ съ цинковою боковою поверхностью [1]). Къ убѣжденію въ ихъ несходствѣ приводитъ насъ еще то обстоятельство, что подъ вліяніемъ гальваническаго тока электрическія явленія мышцъ и нервовъ претерпѣваютъ быстрыя измѣненія (см. лекціи объ электротонѣ и отрицательномъ колебаніи тока), что̀ требуетъ очень подвижнаго электродвигательнаго устройства животныхъ частей, а въ формѣ описаннаго нами цилиндра оно далеко не удовлетворяетъ этому условію. Дѣло другаго рода, если форму цилиндра свести на очень малыя величины и расположить ихъ по длинѣ проводника другъ подлѣ друга правильными рядами. Тогда цинковые и мѣдные бока могли бы удержать смыслъ сплошныхъ, однородно-устроенныхъ поверхностей; а между тѣмъ устройство удовлетворяло бы идеѣ подвижности. Дю-Буа такъ и сдѣлалъ; но при этомъ ему, конечно, пришлось изслѣдовать явленія, представляемыя системою отдѣльныхъ цилиндровъ, расположенныхъ въ ряды. Фиг. 20-я представляетъ рядъ изогнутыхъ пластинокъ, гдѣ

---

[1]) Здѣсь кстати замѣтить, что при разсматриваніи микроскопическаго устройства первичнаго мышечнаго и нервнаго волоконъ легко можетъ родиться мысль о происхожденіи въ нихъ токовъ вслѣдствіе электрической разнородности между стѣнкой волокна и его содержимымъ. Такое электродвигательное устройство вполнѣ соотвѣтствовало бы мѣдному цилиндру съ цинковой боковой поверхностью. Такъ какъ послѣдній не удовлетворяетъ всѣмъ электрическимъ явленіямъ, представляемымъ элементами мышцъ и нервовъ, то ясно, что не въ различіи оболочекъ послѣднихъ отъ ихъ содержимаго лежитъ причина электрическихъ явленій.

цинковыя поверхности лежатъ въ одной плоскости; эти шематическіе опыты относятся у него къ изслѣдованію устройства продольной поверхности мышцы и нерва. На фиг. 21-й, наоборотъ, въ одной плоскости лежитъ мѣдь и опыты относятся къ устройству поперечнаго разрѣза. Входить въ подробности описанія этихъ опытовъ я не стану; скажу лишь, что наложеніе дуги мультипликатора въ точкахъ *a* и *b* въ обоихъ случаяхъ оказалось недѣятельнымъ; при сообщеніи *a* съ *c* получился въ первомъ случаѣ токъ отъ *a* къ *c*, во второмъ наоборотъ—точка противъ цинка и мѣди дала сильное отклоненіе и пр. Однимъ словомъ, на этой шемѣ дю-Буа получилъ тѣ же самыя явленія, какъ на каждомъ отдѣльномъ цилиндрѣ, но подъ условіемъ, если разстояніе между послѣдними, въ сравненіи съ ихъ размѣрами, незначительно. Какъ бы предчувствуя будущія возраженія, дю-Буа старается объяснить полученныя имъ явленія тѣмъ, что отъ наложенія дуги мультипликатора на двѣ точки проводника, по которому проходятъ безъ этого нѣсколько отдѣльныхъ системъ токовъ, измѣняется въ послѣднемъ расположеніе изоэлектрическихъ плоскостей, пути токовъ скрещиваются и величины послѣднихъ суммируются. Какъ бы то ни было, а задача дю-Буа была, повидимому, кончена. Онъ имѣлъ уже возможность выстроить изъ мѣди, цинка и сѣрной кислоты шему, которая, по своему вліянію на магнитную стрѣлку, представляетъ тѣ же самыя явленія, что нервъ и мышца. Вотъ эта знаменитая шема: въ четырехугольную продолговатую доску вмазаны посредствомъ сургуча, стоймя, нѣсколько рядовъ полыхъ мѣдныхъ цилиндровъ, покрытыхъ внутри лакомъ, чтобы предупредить смачиваніе ихъ поверхностей жидкостью (фиг. 22-я). Снаружи каждый цилиндръ обложенъ съ двухъ противоположныхъ сторонъ по всей высотѣ бока цинковыми пластинками *ц,ц*. Цилиндры расположены другъ подлѣ друга такимъ образомъ, что по длиннѣйшему боку четырехугольной доски стоитъ фронтомъ всегда цинкъ, по короткому всегда мѣдь. Это отношеніе разнородныхъ металлическихъ поверхностей, которымъ обусловливается электро-двигательный характеръ шемы, сохраняется для какой угодно малой части ея, если дѣлить шему на продольные и поперечные ряды цилиндровъ (въ мышцѣ и нервѣ, какъ вы помните, то же самое). Для опытовъ доска погружается цилиндрами въ четырехугольный сосудъ съ воднымъ растворомъ сѣрной кислоты. Въ

промежуточный слой жидкости между стѣнками сосуда и границами шемы погружаются концы мультипликатора. Шема, какъ было уже упомянуто, даетъ, въ электро-магнитномъ отношеніи, тѣ же явленія, какъ отрѣзки мышцъ и нервовъ. Слѣдовательно дю-Буа оставалось только перенести ея устройство на послѣдніе органы. Въ этомъ перенесеніи цилиндру приданы полусферическія основанія и самая величина его доведена до молекулярной. Такимъ образомъ явилась знаменитая гипотеза дю-Буа-Реймона о периполярномъ расположеніи электродвигательныхъ молекуловъ по длинѣ мышечнаго и нервнаго волоконъ. Фиг. 23-я и 24-я представляютъ шематическія изображенія ея. Въ первой модификаціи электрическія противоположности, представляемыя цилиндромъ, соединены на одномъ молекулѣ, во второй на двухъ; поэтому въ послѣдней каждая пара молекуловъ составляетъ какъ бы одинъ и половины ея, на этомъ основаніи, сближены между собою. Когда будемъ говорить объ электротонѣ, то увидимъ, что вторая модификація удобнѣе объясняетъ явленія его, чѣмъ первая.

Гипотезою дю-Буа достигался результатъ еще небывалый въ физіологіи: — цѣлый рядъ явленій сводился на молекулярное устройство производящаго ихъ органа, и неудивительно, что тогда казалось уже близкимъ время, когда для науки перестанутъ быть тайной сущность нервнаго возбужденія и актъ мышечнаго сокращенія. Вскорѣ однако явились возраженія противъ гипотезы. Вы помните законъ, найденный Гельмгольцемъ относительно силы тока, отведеннаго отъ тѣлеснаго проводника, по которому идутъ системы токовъ. Въ приложеніи къ случаямъ, гдѣ по жидкости шла одна или двѣ отдѣльныхъ системы токовъ и гдѣ электро-возбудительныя поверхности имѣли сравнительно съ концами мультипликатора конечныя величины, законъ этотъ служилъ ключемъ ко всѣмъ видѣннымъ нами явленіямъ на мультипликаторѣ. Будучи же приложеннымъ къ ряду многочисленныхъ безконечно-малыхъ по величинѣ электро-возбудителей, законъ этотъ доказалъ несходство такого электродвигательнаго сочетанія съ устройствомъ мышечнаго и нервнаго волоконъ. Если вообразимъ себѣ, въ самомъ дѣлѣ, рядъ чрезвычайно малыхъ металлическихъ электровозбудителей, погруженныхъ въ слой жидкаго проводника такимъ образомъ, что во фронтѣ лежатъ цинки, то каждый изъ концовъ мультипликатора, приложенный къ поверхности жидкости, будетъ

опираться не на нѣсколько изоэлектрическихъ плоскостей какой-нибудь одной системы токовъ, а на множество системъ разомъ, напр. отъ m до n (фиг. 25-я). Притомъ системы токовъ отъ наложенія на поверхность проводника дуги мультипликатора не могутъ, какъ доказалъ Гельмгольцъ, суммироваться. Слѣдовательно, на основаніи закона, выведеннаго имъ для отведенныхъ токовъ, величина электродвигательной силы, дѣйствующей на каждую ножку дуги мультипликатора, будетъ равна средней величинѣ изъ суммы всѣхъ частныхъ напряженій тѣхъ точекъ поверхности проводника, съ которыми ножка эта находится въ соприкосновеніи. Въ нашемъ случаѣ по всей длинѣ поверхности проводника частныя напряженія различныхъ точекъ постоянно колеблются; притомъ колебанія эти для каждой отдѣльной системы токовъ повторяются въ одномъ и томъ же порядкѣ: именно, напряженіе, имѣя въ точкахъ a опредѣленную величину, въ направленіи къ точкамъ b постоянно увеличивается, отсюда до c также постоянно падаетъ и въ c величина напряженія та же, что въ a. Слѣдовательно, по всей поверхности проводника величина напряженія колеблется безчисленное множество разъ между предѣлами, соотвѣтствующими a и b. Ясно, что величина средняго напряженія для каждой точки проводника должна лежать между этими предѣлами. Эта средняя величина и будетъ выражать ту электродвигательную силу, которая дѣйствуетъ на каждую точку конца мультипликатора, слѣдовательно и на всю поверхность. При этомъ условіи и выходитъ, что къ какимъ бы мѣстамъ жидкаго проводника на его фронтовой поверхности (цинковой) ни были приложены концы мультипликатора, на нихъ будутъ дѣйствовать равной величины электродвигательныя силы, слѣдовательно тока быть не можетъ. Другими словами, предполагая гипотезу дю-Буа относительно электродвигательнаго устройства мышцы и нерва справедливою, нельзя было бы получить отведенныхъ токовъ отъ двухъ точекъ ихъ продольной поверхности, или поперечнаго разрѣза; токъ существовалъ бы лишь при сочетаніи этихъ разнородныхъ поверхностей, потому что средняя величина положительнаго напряженія надъ мѣднымъ фронтомъ во всякомъ случаѣ менѣе, чѣмъ надъ цинковымъ. Послѣ сказаннаго нечего, кажется, и доказывать, что гипотеза дю-Буа не удовлетворяетъ, кромѣ того, явленіямъ усиленія токовъ съ возрастаніемъ размѣровъ мышцы и нерва.

То обстоятельство, что дю-Буа въ своихъ опытахъ съ шемами, изображенными на фиг. 20 и 21-й, получалъ токи при наложеніи концовъ мультипликатора отдѣльно вдоль цинковаго и мѣднаго фронтовъ, Гельмгольцъ объясняетъ непостоянствомъ электровоэбудительныхъ силъ (припомните, что шемы составлены изъ мѣди, цинка и сѣрной кислоты, сочетанія, дающаго сильную поляризацію), развитые же имъ принципы имѣютъ значеніе лишь при постоянствѣ этихъ силъ.

Такимъ образомъ пала гипотеза дю-Буа, но съ ея паденіемъ не уничтожилась, конечно, у современныхъ физіологовъ мысль, до какихъ громадныхъ результатовъ можетъ дойдти наша наука путемъ строгаго физическаго метода. Съ цѣлью укрѣпить въ кругу моихъ почтенныхъ слушателей эту мысль и была мною разобрана гипотеза дю-Буа.

VIII.

Физіологическое значеніе мышечнаго и нервнаго токовъ.

М. Г.

Сегодня мы займемся разсмотрѣніемъ вліянія нѣкоторыхъ физіологическихъ условій на явленія мышечнаго и нервнаго токовъ и такимъ образомъ дойдемъ до возможнаго опредѣленія ихъ физіологическаго значенія. Прежде всего напомню вамъ, что электрическія явленія замѣчены нами на органахъ, отдѣленныхъ отъ тѣла; слѣдовательно на органахъ, можетъ быть, мертвыхъ, или по крайней мѣрѣ поставленныхъ въ условія, совершенно отличныя отъ тѣхъ, при которыхъ они находятся, когда связаны еще съ тѣломъ. Ясно, что рѣшеніе вопроса, не суть ли явленія эти трупныя—есть дѣла первѣйшей важности. Къ счастію, рѣшеніе это очень просто. Вы знаете, что въ живомъ и цѣломъ организмѣ мышцы и нервы раздражительны, т. е. первыя способны сокращаться подъ вліяніемъ очень разнообразныхъ раздражителей (между прочимъ электрическаго тока); вторые, при тѣхъ же условіяхъ, способны вызывать въ связанныхъ съ ними мышцахъ сокращеніе, или производить въ центральныхъ нервныхъ массахъ особаго рода состояніе, которое мы называемъ ощущеніемъ. Извѣст-

но вамъ также, что раздражительность нервовъ и мышцъ остается у лягушекъ долго спустя по отдѣленіи этихъ частей отъ тѣла; мы же изслѣдуемъ ихъ тотчасъ по отдѣленіи; слѣдовательно имѣемъ дѣло съ частями, сохранившими свои жизненныя свойства. Доказать впрочемъ, что электрическія явленія мышцъ и нервовъ не суть трупныя, можно и съ противоположной стороны очень легко. Вѣрный признакъ смерти всякаго животнаго органа заключается въ гніеніи его. Изслѣдуйте гнилую мышцу или гнилой нервъ на мультипликаторѣ—можетъ быть получатся отклоненія стрѣлки; но отклоненія эти будутъ, во-первыхъ очень слабы, во-вторыхъ, въ нихъ не будетъ никакой опредѣленной законности. И такъ, вотъ первое физіологическое пріобрѣтеніе: электрическія явленія въ разсмотрѣнной нами формѣ есть принадлежность мышцъ свѣжихъ, негніющихъ. Изъ того, что явленія эти долго остаются въ мышцахъ и нервахъ, лишенныхъ притока крови, слѣдуетъ, повидимому, что притокъ этотъ не нуженъ для произведенія ихъ. Такое заключеніе было бы однако поспѣшно; вспомните, что въ ткани всякаго органа есть всегда избытокъ питательнаго матеріала, который поддерживаетъ въ немъ всѣ физіологическія свойства до тѣхъ поръ, пока не израсходуется. У лягушки расходъ этотъ сравнительно съ теплокровными животными очень незначителенъ, поэтому мышцы и нервы ихъ по отдѣленіи отъ тѣла живутъ дольше, чѣмъ у послѣднихъ. Но, можетъ быть, токи въ мышцахъ и нервахъ вызываются именно не притокомъ крови, или актомъ отдѣленія этихъ органовъ отъ тѣла? Отвѣтить на эти вопросы я пока еще не могу, но они будутъ рѣшены отрицательно, когда мы на живой, цѣлой лягушкѣ получимъ черезъ ея кожу мышечныя токи (см. 9-ю лекц.). И такъ, видите, дѣло идетъ на то, что электрическія явленія мышцъ и нервовъ суть продукты ихъ жизни. Вопросъ такъ важенъ, что требуетъ подробнаго разсмотрѣнія всѣхъ обстоятельствъ, связанныхъ съ нимъ. Прослѣдимъ же съ этою цѣлью электрическія явленія мышцъ и нервовъ со времени отдѣленія послѣднихъ отъ тѣла до начала гніенія, и поставимъ рядомъ съ этимъ измѣненія раздражительности тѣхъ же органовъ при тѣхъ же условіяхъ. Подобныя наблюденія лучше дѣлать на мышцахъ и нервахъ теплокровныхъ животныхъ, потому что части эти скорѣе умираютъ. Впрочемъ и на лягушкахъ смерть можно ускорять насиліемъ. Опыты показываютъ, что вообще по отдѣленіи мышцъ и нервовъ отъ тѣла

какъ токи ихъ, такъ и раздражительность постепенно ослабѣваютъ, но первые далеко переживаютъ вторую. Обстоятельство это очень печально: оно прерываетъ, повидимому, всякую каузальную связь между тѣмъ устройствомъ мышцы и нерва, которымъ обусловливается ихъ электродвигательная дѣятельность, и главнымъ физіологическимъ свойствомъ этихъ органовъ. Этотъ совершенный разрывъ однако можетъ быть только кажущійся, и вотъ примѣръ, какимъ образомъ можно объяснить себѣ этотъ кажущійся разрывъ: вообразите себѣ стѣнные часы связанными съ двумя отдѣльными гальваническими батареями такимъ образомъ, что маятникъ, достигая крайнихъ предѣловъ своихъ размаховъ, замыкаетъ и размыкаетъ то ту, то другую батарею. Пусть въ цѣпи первой находится чувствительный гальванометръ, во второй проводящая проволока на одномъ мѣстѣ свита въ спираль, на нее надвинута другая (вторичная) и концы послѣдней едва погружены въ ртуть. При каждомъ качаніи маятника съ одной стороны будетъ двигаться магнитная стрѣлка, съ другой появляться искра; между тѣмъ по циферблату будетъ постоянно двигаться часовая стрѣлка. Снимите гирю, послѣднее движеніе на нѣкоторое время еще останется, а колебаній магнита и искры уже не будетъ, потому что размахи маятника стали меньше. А вѣдь между этими тремя явленіями есть каузальная связь.

И такъ исчезаніе одного свойства, когда другое продолжаетъ существовать, не есть еще признакъ отсутствія связи между ними. И мы въ нашемъ случаѣ имѣемъ право думать такъ, потому что когда мышца и нервъ дѣйствительно умираютъ, т. е. начинаютъ разлагаться, то электрическія свойства ихъ тоже окончательно исчезаютъ. Какъ ни проста развитая нами мысль, но многіе не разумѣютъ ее вполнѣ и до сихъ поръ. Токсикологи знаютъ, напримѣръ, нѣсколько веществъ, убивающихъ раздражительность или нервовъ или мышцъ, и удивляются постоянно, что вещества эти, повидимому, не дѣйствуютъ на электрическія свойства тѣхъ же самыхъ органовъ,—говорю повидимому, потому что въ мультипликаторѣ мы не имѣемъ, къ сожалѣнію, мѣряющаго инструмента.

Изслѣдуя далѣе измѣненія электрическихъ свойствъ животныхъ частей при ихъ умираніи, мы находимъ, что для мышцы и нерва предъ началомъ ихъ гніенія всегда существуетъ моментъ, когда всѣ токи ихъ, какъ въ цѣлыхъ органахъ, такъ и въ частяхъ ихъ, на-

вращаютъ свое направленіе. Для мышцъ этотъ моментъ совпадаетъ съ наступленіемъ посмертнаго окоченѣнія; въ нервѣ же ощутительныхъ матеріальныхъ измѣненій при этомъ не замѣчается. Фактъ извращенія тока имѣетъ уже въ настоящее время двоякую важность: въ немъ мы имѣемъ вѣрнаго предвѣстника наступающей смерти мышцы и нерва, потому что одно исчезаніе раздражительности, будучи часто явленіемъ временнымъ, напр. отъ усталости, не указываетъ еще на смерть; кромѣ того изъ него мы убѣждаемся, что организація мышцы и нерва, которою обусловливаются ихъ электрическія свойства, тонка и подвижна, по крайней мѣрѣ подвижнѣе того форменнаго устройства этихъ органовъ, которое даетъ намъ микроскопическое изслѣдованіе. Измѣненія оптическихъ свойствъ мышцъ и нервовъ по отдѣленіи ихъ отъ тѣла, сколько до сихъ поръ извѣстно, очень незначительны и относятся исключительно къ мышцѣ Въ ней дробленіе содержимаго первичныхъ волоконъ на продольныя волоконца разсматривается нѣкоторыми какъ результатъ свертыванія мышечнаго фибрина; другіе же принимаютъ, что содержимое первичныхъ волоконъ уже при жизни раздроблено на продольныя фибры. Какъ бы то ни было, а продольная и даже поперечная рубчатость мышечныхъ волоконъ видна рѣзче на мышцахъ, уже отдѣленныхъ нѣсколько времени отъ тѣла, чѣмъ на совершенно свѣжихъ. Желательно было бы болѣе глубокое изученіе измѣненій оптическихъ свойствъ рядомъ съ измѣненіями электрическихъ.

И такъ извращеніе токовъ въ мышцѣ и нервѣ есть начало смерти послѣднихъ. Мы убѣждаемся въ этомъ,сверхъ сказаннаго,слѣдующими опытами. Если мышцу или нервъ давить, сильно мять въ пальцахъ и пробовать токи ихъ на мультипликаторѣ, то отклоненія стрѣлки, какъ видите, постоянно ослабѣваютъ и наконецъ, при дальнѣйшемъ повтореніи тѣхъ же убивающихъ операцій, направленіе тока извращается. То же самое, если погрузить мышцу на нѣсколько секундъ въ кипятокъ и потомъ, давъ ей остыть съ цѣлью устранить возможность термическихъ токовъ, положить на концы мультипликатора. Случается, что при послѣднемъ способѣ убиванія мышцы, внутреннія слои ея остаются на видъ не измѣненными, т. е. въ нихъ не происходитъ свертыванія бѣлочныхъ растворовъ; тогда эти внутренніе слои мышцы даютъ токъ нормальный по направленію. Охлажденіе животнаго тѣла, по своему

дѣйствію на электрическія явленія мышцъ и нервовъ, относится сюда же, какъ показали изслѣдованія д-ра Шумовскаго, произведенныя въ нынѣшнемъ году и напечатанныя въ *Медицинскомъ Вѣстникѣ* «О парэлектрономическихъ явленіяхъ въ мышцахъ и нервахъ». По скольку однако вліяніе холода локализируется на сухихъ жилахъ мышцъ, вліяніе это представляетъ загадочное явленіе и вмѣстѣ съ тѣмъ имѣетъ большое значеніе въ опредѣленіи роли, которую играетъ сухожиліе въ развитіи токовъ, отведенныхъ отъ него и продольной поверхности мышцъ. Объ этой роли мы не сказали до сихъ поръ еще ни слова: теперь я считаю время для этого удобнымъ.

И такъ прошу извинить мнѣ необходимое здѣсь отступленіе.

Вы видѣли, на опытѣ, что сочетаніе продольной поверхности съ сухожиліемъ даетъ приблизительно столь же сильный токъ, какъ сочетаніе первой съ поперечнымъ разрѣзомъ. Сама же по себѣ сухая жила, какъ вы помните, или вовсе не даетъ тока, или отклоненія стрѣлки бываютъ слабы и лишены всякой видимой законности. На этихъ основаніяхъ, равно какъ вслѣдствіе существующихъ анатомическихъ воззрѣній на отношеніе между мышечнымъ волокномъ и сухожильною фиброю, въ которую она переходитъ, дю-Буа смотритъ на сухую жилу, какъ на слой индифферентнаго проводника, покрывающій подлежащій поперечный разрѣзъ мышцы. Это-то воззрѣніе на сухую жилу, и дѣлаетъ загадочнымъ дѣйствіе на нее холода. Дю-Буа нашелъ, что если здоровую, неповрежденную лягушку охлаждать болѣе или менѣе долгое время при температурахъ ниже 0^{o}, то движенія животнаго изъ отрывистыхъ, быстрыхъ становятся лѣнивыми, медленными, какъ у черепахи; мышцы представляются переполненными кровью, въ ткани ихъ бываютъ иногда даже точечныя кровоизліянія. Вмѣстѣ съ этимъ токи, отведенные отъ сухожилія, или естественнаго поперечнаго разрѣза, какъ называетъ его дю-Буа, продольной поверхности, или значительно ослабѣваютъ, или вовсе уничтожаются, или даже извращаются по направленію. При всѣхъ же другихъ сочетаніяхъ токи остаются нормальными. Изслѣдуя эти явленія далѣе, онъ нашелъ, что причина измѣненій тока лежитъ лишь въ поверхностныхъ слояхъ сухой жилы, потому что съ удаленіемъ этого слоя (онъ названъ дю-Буа парэлектрономическимъ) какимъ-нибудь способомъ, напр. соскабливаніемъ, срѣзываніемъ, прижиганіемъ (ка-

лёнымъ желѣзомъ, азотной кислотой, креозотомъ, азотнокислой окисью серебра и пр.), токъ получаетъ прежнюю силу и прежнее направленіе. Возстановленіе нормальнаго тока при удаленіи парэлектрономическаго слоя и заставили дю-Буа принять, что подъ вліяніемъ холода естественный поперечный разрѣзъ принимаетъ сильно выраженное положительное электрическое напряженіе, тогда какъ при нормальныхъ условіяхъ господствующее въ немъ напряженіе имѣетъ знакъ.—Однако чтобы объяснить извращеніе тока, этого было еще недостаточно: продольному разрѣзу нужно было придать нейтральное напряженіе, не измѣняющееся подъ дѣйствіемъ холода [1]. Такимъ образомъ и явилось ничѣмъ непримиримое противорѣчіе въ воззрѣніи на сухую жилу. Прежде она вовсе не имѣла электродвигательнаго значенія, была лишь индифферентнымъ проводникомъ подлежащаго поперечнаго разрѣза мышцы; теперь же является электродвигательнымъ элементомъ, мѣняющимъ знаки своего напряженія. Изслѣдованія д-ра Шумовскаго не рѣшили этого противорѣчія, но они показали по крайней мѣрѣ, что, смотря по степени и продолжительности охлажденія, парэлектрономическій слой проникаетъ въ толщу сухой жилы глубже и глубже, переходитъ потомъ на мясо и наконецъ, при очень продолжительномъ охлажденіи, занимаетъ всю толщу мышцы. То же видѣлъ онъ и на нервахъ. Такимъ образомъ изслѣдованія эти, поставивъ дѣйствіе охлажденія въ рядъ другихъ вліяній, убивающихъ нервъ и мышцу, доказали, что парэлектрономическій слой есть не что иное, какъ слой умершихъ поверхностныхъ частицъ мышцы и нерва, слѣдовательно частный случай умиранія этихъ органовъ.

Вотъ физіологическое значеніе повсемѣстнаго извращенія токовъ въ мышцахъ и нервахъ. Если смотрѣть на него съ точки зрѣнія старой электро-молекулярной гипотезы, то явленіе это обусловливается переворачиваніемъ каждаго молекула на 180° около осей перпендикулярныхъ къ какому нибудь продольному

---

[1]) Подробное изслѣдованіе дю-Буа о парэлектрономическомъ слоѣ въ мышцахъ явилось въ прошломъ году; слѣдовательно послѣднее измѣненное противъ прежняго воззрѣніе на электродвигательное устройство продольнаго разрѣза мышцы явилось значительно позднѣе его электро-молекулярной гипотезы.

разрѣзу мышцы и нерва. Такое расположенiе молекуловъ назвалъ нѣкогда дю-Буа отрицательно-периполярнымъ.

Влiянiе болѣзненныхъ условiй на электродвигательныя свойства нервовъ и мышцъ еще не опредѣлено. Относительно лягушекъ извѣстно только, что весною и осенью, когда мышцы ихъ и нервы отличаются наибольшею раздражительностью, электрическiя явленiя этихъ органовъ представляютъ также наибольшую напряженность. Напротивъ лѣтомъ и особенно зимою, у лягушекъ, содержащихся въ неволѣ, голодающихъ, оба свойства нервовъ и мышцъ значительно ослабѣваютъ. Въ этомъ лежитъ, конечно, новое доказательство связи между электродвигательною и физiологическою дѣятельностью животныхъ частей.

Говорить теперь о влiянiи другихъ дѣятелей на явленiя мышечнаго и нервнаго токовъ, напр. наркотическихъ ядовъ, различныхъ газовъ и пр., считаю излишнимъ, потому что этого рода изслѣдованiя до сихъ поръ ничего не прибавили къ нашимъ физiологическимъ воззрѣнiямъ на электрическiя явленiя мышцъ и нервовъ. Полезнѣе будетъ резюмировать, въ заключенiе настоящей лекцiи, все въ ней сказанное и опредѣлить точку зрѣнiя, съ которой слѣдуетъ смотрѣть въ нашей наукѣ на ученiе объ электродвигательной дѣятельности мышцъ и нервовъ въ изложенномъ уже теперь объемѣ. Вамъ извѣстно, что въ способности мышцы сокращаться подъ влiянiемъ разнообразныхъ условiй, дѣйствующихъ на нее прямо или чрезъ посредство органически связаннаго съ нею нерва, резюмируется вся ея физiологическая дѣятельность, выражается, такъ сказать, весь ея физiологическiй характеръ. Главная задача мышечной физiологiи сводится, слѣдовательно, на изученiе сущности мышечнаго сокращенiя. Изъ физiологiи нервныхъ отправленiй вамъ, съ другой стороны, извѣстно, что, не смотря на большое разнообразiе эффектовъ, которыми выражается дѣятельность отдѣльныхъ нервовъ (движущихъ, отдѣлительныхъ, чувствующихъ — зрительнаго, слуховаго и пр.), возбужденное состоянiе самаго нерва въ сущности для всѣхъ одинаково и разнообразiе его проявленiй лежитъ лишь въ различiи устройства центральнаго или периферическаго аппаратовъ, съ которыми нервъ органически связанъ. Изученiе сущности нервнаго возбужденiя имѣетъ слѣдовательно въ нервной физiологiи то же значенiе, какъ актъ мышечнаго сокращенiя въ мышечной. Какiе же пути для изуче-

нія этихъ актовъ? Конечно, опредѣленіе всевозможныхъ физическихъ и химическихъ свойствъ мышцы и нерва въ ихъ покойномъ состояніи и опредѣленіе измѣненій этихъ свойствъ, когда мышца и нервъ отъ покоя переходятъ къ дѣятельности. Изученіе явленій при первомъ условіи имѣетъ характеръ анатомическаго анализа: имъ достигается, въ самомъ счастливомъ случаѣ, не больше, какъ познаніе механическихъ деталей въ устройствѣ частей; познаніе же общей мысли, общаго механическаго плана, лежащаго въ основѣ этого устройства, дается лишь изученіемъ части во время ея дѣятельности. До сихъ поръ мы изучали мышцу и нервъ во время покоя ихъ; слѣдовательно найденные нами факты можно поставить, по значенію своему, рядомъ съ тѣми, которые открываетъ намъ, напримѣръ, микроскопъ. И посмотрите, какой страшный перевѣсъ имѣютъ первые передъ послѣдними относительно главной задачи изслѣдованія, т. е. опредѣленія устройства мышцы и нерва, которыми объяснялась бы ихъ физіологическая дѣятельность. Микроскопъ далъ здѣсь до сихъ поръ формы очень неподвижныя, не измѣняющіяся даже при такихъ рѣзкихъ перемѣнахъ, какъ переходъ мышцы и нерва отъ жизни къ смерти; между его показаніями и физіологическою дѣятельностью органовъ лежитъ до сихъ поръ непроходимая бездна. Вы видѣли, напротивъ, что путемъ электрическаго изслѣдованія мы дошли до формъ подвижныхъ, которыхъ связь съ физіологическою дѣятельностью достаточно выяснилась уже теперь и выяснится еще больше впослѣдствіи, когда мы будемъ изучать мышцу и нервъ въ дѣятельномъ состояніи. Съ подвижностью формы мы получили нѣкоторымъ образомъ намеки на то, какимъ образомъ происходитъ передвиженіе возбужденія вдоль по нерву. Не смотря на паденіе электро молекулярной гипотезы дю-Буа, можно смѣло сказать, что электрическія явленія привели насъ къ молекулярному устройству мышцы и нерва; за это говоритъ, между прочимъ, уже и то обстоятельство, что оба органа, столь различные по внѣшнему виду, представляютъ тождество въ электро-динамическомъ отношеніи: это то же самое, что, напримѣръ, тождество сажи съ алмазомъ со стороны ихъ химическаго состава, не смотря на огромную разницу внѣшнихъ качествъ. Изслѣдованія мышцы и нерва въ другихъ направленіяхъ, напр. со стороны химическихъ свойствъ, плотности, упругости и пр., дали для нашей главной цѣли еще чрезвычайно мало; и потому

путь электрическаго изслѣдованія этихъ органовъ считается еще совершенно справедливо главнѣйшимъ, если не исключительнымъ, для разработки вопросовъ о сущности нервнаго возбужденія и мышечнаго сокращенія.

IX.

Электро-динамическія явленія кожи у лягушки и человѣка. — Мышечные токи отъ цѣлыхъ конечностей лягушки, покрытыхъ кожей.— Понятіе о мышечной и нервной раздражительности.—Электрическій токъ, какъ мышечный и нервный раздражитель.—Первое условіе перехода двигательнаго нерва отъ покоя къ дѣятельности подъ вліяніемъ электрическаго тока.

М. Г.

Разбирая прошлый разъ органическія условія электро-динамическихъ явленій мышцъ и нервовъ, мы обошли молчаніемъ — и, какъ увидите, не безъ основанія—вопросъ о томъ, имѣютъ ли мѣсто мышечный и нервный токи въ тѣлѣ *живомъ* и *нисколько неповрежденномъ*? A priori отвѣтъ здѣсь, конечно, долженъ быть утвердительный, ибо мы видѣли, что токи мышцъ и нервовъ идутъ до нѣкоторой степени рука объ руку съ главнѣйшимъ физіологическимъ свойствомъ этихъ органовъ, ихъ раздражительностью, а послѣдняя, какъ извѣстно, присуща нервамъ и мышцамъ и въ живомъ, неповрежденномъ тѣлѣ. Тѣмъ не менѣе, оставаясь вѣрными общему принципу естественныхъ наукъ, не допускающему выводовъ a priori, мы постараемся доказать существованіе токовъ и при этихъ условіяхъ. Объ изслѣдованіи отдѣльныхъ мышцъ, а тѣмъ болѣе нервовъ, нечего здѣсь и думать: мы должны дѣйствовать или надъ цѣлымъ тѣломъ лягушки, покрытымъ кожей, или надъ одною изъ ея конечностей, лучше всего заднею. Если получится токъ, то онъ будетъ имѣть значеніе лягушечьяго тока Нобили, т. е. результирующаго изъ мышечныхъ; и, конечно, этого будетъ уже достаточно, чтобы принять и существованіе нервнаго, опредѣленіе котораго отдѣльно отъ мышечныхъ въ неповрежденномъ тѣлѣ рѣшительно невозможно, по причинѣ глубокаго положенія нервовъ между мышцами. И такъ стоитъ только одинъ

конецъ мультипликатора сообщить съ верхней частью нижней конечности, а другой съ лапкой. Самая удобная форма опыта слѣдующая: стаканы мультипликатора (фиг. 26-я) соединяются посредствомъ бумажныхъ перемычекъ *aa* съ двумя новыми стаканами *bb*, наполненными тою же жидкостью, что и первые. Въ одинъ изъ новыхъ стакановъ погружается лапка лягушки, утвержденной неподвижно на рамкѣ приличной формы, въ другой же опускается толстый ремень изъ сложенныхъ другъ съ другомъ бумажныхъ полосокъ, охватывающій верхнею часть задней конечности. Такимъ образомъ жидкость въ главныхъ сосудахъ мультипликатора не грязнится и слѣдовательно не страдаетъ однородность его концовъ. Токъ, какъ видите, при этомъ получается; но онъ не всегда имѣетъ одно и то же направленіе, тогда какъ лягушечій токъ Нобили идетъ по тѣлу лягушки всегда отъ лапокъ кверху, а по дугѣ мультипликатора наоборотъ. И такъ мы имѣемъ дѣло здѣсь не съ мышечнымъ токомъ, и, конечно, всего естественнѣе думать, что электродвигатель, вызывающій полученное нами явленіе, или по крайней мѣрѣ затемняющій явленія мышечнаго тока, есть кожа. Это въ самомъ дѣлѣ такъ. Если вырѣзать у живой лягушки кусокъ кожи, положить его на стеклянную пластинку такимъ образомъ, чтобы внѣшняя поверхность кожи оставалась свободной, и прикоснуться къ двумъ точкамъ послѣдней концами мультипликатора, снабженными прибавочными подушками, то всегда получается токъ, имѣющій перемѣнное направленіе. Изслѣдуя явленіе подробнѣе, нетрудно замѣтить, что тока вовсе не существуетъ, или онъ чрезвычайно слабъ, если прикасаніе концовъ мультипликатора къ кожѣ произошло одновременно; напротивъ, отклоненіе тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше времени протекло между приложеніемъ каждаго изъ нихъ отдѣльно. Токъ идетъ по кожѣ всегда отъ точки, гдѣ соприкосновеніе произошло позднѣе; отклоненіе непостоянно, съ теченіемъ времени уменьшается и наконецъ минуты черезъ 2, 3 совершенно исчезаетъ. Когда между двумя точками кожи тока уже нѣтъ, то новое прикладываніе концовъ мультипликатора къ этимъ точкамъ оставляетъ стрѣлку въ покоѣ. Сумма изложенныхъ фактовъ замѣчена была дю-Буа при помощи его мультипликатора съ концами стараго устройства, т. е. платиной и насыщеннымъ растворомъ поваренной соли. Объяснилъ ихъ онъ предположеніемъ, что электродвигательная сила родится здѣсь на

границѣ соприкосновенія кожи съ подушкой мультипликатора, пропитанной солянымъ растворомъ, и дѣйствуетъ въ направленіи отъ послѣдней къ первой. По мѣрѣ пропитыванія кожи солянымъ растворомъ электровозбудительная сила должна ослабѣвать; слѣдовательно въ двухъ точкахъ, смоченныхъ неодновременно, перевѣсъ электровозбудительной силы остается на сторонѣ той, гдѣ смачиваніе произошло позднѣе. Опытъ подтвердилъ это предположеніе: двѣ точки внѣшней поверхности кожи, оставленныя подъ вліяніемъ солянаго раствора минуты двѣ, три, не даютъ тока и при неодновременномъ соприкасаніи ихъ съ подушками мультипликатора. Этотъ же фактъ даетъ намъ въ руки средство элиминировать электродвигательныя свойства кожи изъ нашихъ опытовъ съ мышечными токами необнаженныхъ конечностей. Если въ самомъ дѣлѣ концы мультипликаторъ стараго устройства сообщить съ задней конечностью лягушки въ формѣ, описанной выше, то стоитъ только соединить главные стаканы замыкательною подушкою, т. е. вывести мультипликаторъ изъ цѣпи и подождать минуты двѣ, три, тогда электродвигательная дѣятельность кожи уничтожается и по снятіи замыкательной подушки стрѣлка показываетъ существованіе мышечнаго тока. Вы, въ самомъ дѣлѣ, видите, что, судя по отклоненію стрѣлки, онъ имѣетъ то самое направленіе, какое должно быть для лягушечьяго тока Нобили. Единственное ризличіе здѣсь въ степени отклоненія: когда конечность покрыта кожей—оно менѣе; и это понятно, потому что въ послѣднемъ случаѣ кожа представляетъ побочное замыканіе для мышечнаго тока, относительно части его, дѣйствующей на стрѣлку; чего нѣтъ, когда кожа снята [1]. Распространяться далѣе объ электро-динамическихъ явленіяхъ лягушечьей кожи считаю излишнимъ, потому что ученіе объ этихъ явленіяхъ едва начинается [2]. На этомъ же основаніи не буду говорить и объ электри-

---

[1]) Если бы послѣ сказаннаго родилась у кого, паче чаянія, мысль о томъ, что, можетъ быть, и въ мышцахъ и въ нервахъ токъ родится на границѣ ихъ соприкасанія съ подстилкой, которая, во всякомъ случаѣ, пропитывается солянымъ растворомъ, пусть тотъ припомнитъ, что тамъ токи имѣютъ одинаковую силу и направленіе какъ при одновремениомъ, такъ и при неодновременномъ соприкасаніи частей съ концами мультипликатора.

[2]) Здѣсь я разумѣю, кромѣ новѣйшихъ изслѣдованій дю-Буа, и наблюденія Будге надъ электрическими явленіями кусковъ лягушечьей кожи, свернутыхъ

ческихъ свойствахъ человѣческой кожи—вопросѣ, затронутомъ дю-Буа въ его послѣдней книжкѣ (*Unters. üb. thier. Elektricit.*), вышедшей въ прошломъ году. Скажу только, что у человѣка элиминировать изъ опытовъ электродвигательную способность кожи, подобно тому, какъ это сдѣлано на лягушкѣ, не удалось, и потому покоющагося мышечнаго тока у человѣка наблюдать до сихъ поръ нельзя. Изъ лекціи 17-й вы однако узнаете косвенное средство доказать существованіе его и въ нашемъ тѣлѣ.

Этимъ я оканчиваю первую половину нашей главной задачи и перехожу теперь къ изученію нервовъ и мышцъ въ ихъ дѣятельномъ состояніи, или, говоря опредѣленнѣе, къ ученію о раздражительности мышцъ и нервовъ въ связи съ измѣненіями ихъ электро-динамическихъ свойствъ. Въ этомъ отдѣлѣ мы выберемъ прежде всего раздражителя, потомъ опредѣлимъ условія перехода мышцъ и нервовъ отъ покоя къ дѣятельности, наконецъ будемъ разбирать измѣненія электрическихъ свойствъ и раздражительности мышцъ и нервовъ при томъ же условіи. Историческаго обзора этого ученія, чрезвычайно богатаго литературой, дѣлать мы не будемъ, потому что это завело бы насъ слишкомъ далеко, не принося никакой существенной пользы нашему воззрѣнію на предметъ.

Понятія о мышечной и нервной раздражительности установились въ физіологіи лишь въ послѣднее время. До сихъ поръ подъ именемъ первой разумѣлась способность мышцы сокращаться подъ вліяніемъ многоразличныхъ условій, дѣйствующихъ на нее прямо или чрезъ посредство связаннаго съ нею нерва. Нервною же раздражительностью называлась способность нерва *при тѣхъ же условіяхъ* вызывать различныя состоянія въ связанныхъ съ нимъ периферическихъ и центральныхъ аппаратахъ—сокращеніе въ мышцахъ и различныя ощущенія въ центральныхъ частяхъ

въ трубки. Эти наблюденія указываютъ на существованіе тока между продольною поверхностью кожи и ея поперечнымъ разрѣзомъ. Существованіе же токовъ между точками продольной поверхности этого свертка въ той формѣ, какъ они являются ви нервѣ и мышцѣ, невозможно, на основаніи сказаннаго выше. Будге тѣмъ не менѣе упираетъ на это сходство. Во всякомъ случаѣ, изученіе кожныхъ токовъ есть задатокъ для дальнѣйшаго развитія вопроса объ электромолекулярномъ устройствѣ нерва.

нервной системы. Въ этомъ опредѣленіи мышца разсматривалась in concreto, не обращалось вниманія на то, что она заключаетъ въ себѣ, кромѣ мышечной, раздражительную нервную ткань, на присутствіе которой могла быть сведена дѣятельность мышцы. Поэтому и всѣ результаты изслѣдованія о мышечной дѣятельности относятся не собственно къ мышечной ткани, а къ цѣлой мышцѣ, т. е. къ сочетанію мышечной ткани съ нервною. Въ этомъ смыслѣ и мы будемъ всегда рмзумѣть мышцу, пока не научимся отдѣлять физіологически дѣятельность распространенныхъ въ ней нервовъ отъ дѣятельности собственно мышечной субстанціи.

Выраженіемъ и даже мѣриломъ возбужденнаго состоянія мышцы и движущаго нерва можетъ служить величина мышечнаго сокращенія. Для чувствующихъ же нервовъ, смотря по различію ихъ концевыхъ аппаратовъ, выраженія эти, т. е. ощущенія, могутъ быть весьма различны; притомъ они недоступны объективному изслѣдованію и подлежатъ въ очень ограниченной степени измѣренію. Поэтому неудивительно, что ученіе о нервной дѣятельности основано почти исключительно на явленіяхъ, представляемыхъ движущимъ нервомъ. Недостатокъ этотъ, къ счастію, не очень важенъ, потому что вамъ, конечно, извѣстны изъ физіологіи тѣ многочисленные факты, на основаніи которыхъ наша наука давно уже признаетъ, что сущность возбужденнаго состоянія всякаго нерва, т. е. и движущаго и чувствующаго, не смотря на различіе его проявленій, одинакова. Вскорѣ мы убѣдимся, что это положеніе не абсолютно вѣрно, но вмѣстѣ съ тѣмъ вы увидите, что разница между возбужденіемъ движущаго и чувствующаго нервовъ въ самомъ дѣлѣ очень незначительна. И такъ главнымъ объектомъ при изслѣдованіи нервной дѣятельности будетъ по необходимости и у насъ движущій мышечно-нервный аппаратъ, т. е. сочетаніе мышцы съ ея нервомъ, напр. ischiadicus лягушки съ его мышцами.

Что касается раздражителя, то мы имѣемъ для выбора его огромный рядъ физическихъ и химическихъ дѣятелей, приводящихъ мышцу и нервъ въ возбужденное состояніе. На томъ основаніи, что сущность послѣдняго остается одинакова, какимъ бы дѣятелемъ возбужденіе мышцы и нерва ни было вызвано (наглядныя доказательства этому общеизвѣстны и находятся въ любомъ учебникѣ физіологіи), мы имѣемъ право выбрать изъ многочи-

сленнаго ряда раздражителей какой-нибудь одинъ, который для насъ удобнѣе. Мы и выбираемъ предпочтительно передъ всѣми прочими электрическій токъ въ его различныхъ формахъ. Выгоды этого дѣятеля, какъ раздражителя мышцъ и нервовъ, заключаются въ томъ, что сила его въ нашей власти, т. е. можетъ быть измѣняема по произволу и притомъ каждый разъ измѣрена; кромѣ того электрическій токъ, будучи между всѣми мышечными и нервными раздражителями однимъ изъ самыхъ могучихъ, если не самымъ могучимъ, не разрушаетъ, подобно другимъ, животныхъ частей, слѣдовательно дѣйствіе его на животныя ткани можетъ быть изучаемо въ продолженіе болѣе или менѣе долгаго времени.

Избравъ такимъ образомъ движущій мышечно-нервный аппаратъ объектомъ, надъ которымъ будутъ производиться опыты, а электрическій токъ раздражителемъ, приступаю теперь къ опредѣленію условій перехода мышцъ и нервовъ отъ покоя къ дѣятельности при дѣйствіи на нихъ электрическимъ токомъ. Начнемъ съ нерва.

Вы уже знаете изъ первой лекціи, гдѣ говорится о мышечномъ сокращеніи при наложеніи на нервъ дуги изъ разнородныхъ металловъ (см. фиг. 1-ю), что если электрическій токъ проходитъ между двумя точками по длинѣ нерва, то при началѣ этого прохожденія — при замкнутіи цѣпи нервомъ — и при концѣ его — при разомкнутіи цѣпи — мышца содрогается; во все же время, пока токъ проходитъ по нерву, цѣпь остается замкнутой — мышца покойна. Прикладывая къ двумъ точкамъ по длинѣ нерва электроды даніэлевскаго элемента, получаемъ, какъ видите, то же самое. И такъ движущій нервъ возбуждается началомъ дѣйствія на него электрическаго тока и концомъ этого дѣйствія. Результатъ на первый взглядъ очень странный, находящій объясненіе развѣ въ извѣстной поговоркѣ, что крайности сходятся. Однако наука давно помирила эти крайности. Я приведу вамъ два очень старыхъ опыта, рѣшающихъ дѣло. Одинъ изъ нихъ принадлежитъ Маріанини, другой Риттеру. Вотъ нѣсколько измѣненная форма перваго; въ два стеклянныхъ стакана, снабженныхъ такими же подушками, какъ концы мультипликатора, и наполненныхъ растворомъ цинковаго купороса, погружены цинковые концы электродовъ даніэлевской пары; на подушкахъ съ бѣлочными подстилками лежитъ двумя точками нервъ, связанный съ мышцами; по

части нерва между этими точками проходитъ, слѣдовательно, электрическій токъ. Цѣпь замкнута нервомъ и мышца въ покоѣ. Въ оба стакана я погружаю концы дуги изъ цинковой палочки. Вы видите — мышца вздрогнула. Дуга лежитъ въ стаканахъ — мышца снова покойна. Вынимаю дугу — мышца опять сокращается. Смыслъ опыта слѣдующій: когда въ стаканы погружена металлическая дуга, то электрическому току является путь изъ одного стакана въ другой уже не по одному нерву, какъ было прежде, а вмѣстѣ съ нимъ и по металлической дугѣ Ясно, что густота тока, шедшаго по нерву, въ этотъ моментъ быстро ослабѣваетъ—претерпѣваетъ быстрое колебаніе въ отрицательную сторону. Когда же дуга разъ опущена, то по нерву идетъ въ каждую единицу времени токъ приблизительно одинаковой густоты. Послѣдняго условія снова не существуетъ въ моментъ выниманія дуги изъ стакана. Здѣсь, наоборотъ, густота тока, идущаго по нерву, претерпѣваетъ быстрое колебаніе въ положительную сторону. Опытъ Риттера, подтверждая результаты Маріанини, открываетъ, сверхъ того, новыя стороны явленія. У него въ цѣпь даніэлевскаго элемента, состоящую изъ мѣдной проволоки и замкнутую нервомъ движущаго аппарата, введено препятствіе, которое можетъ быть по произволу увеличено и уменьшено. Для этого конецъ проволоки, идущей, напримѣръ, отъ мѣднаго полюса гальванической пары, онъ вводитъ черезъ пробку въ длинную, стеклянную трубку, наполненную водянымъ растворомъ мѣднаго купороса, доводитъ проволоку примѣрно до $^1/_4$ длины всей трубки и укрѣпляетъ ее въ пробкѣ неподвижно. Съ другой стороны, въ ту же трубку онъ вводитъ другую половину проволоки, идущей отъ мѣднаго полюса, но оставляетъ ее подвижной въ пробкѣ, такъ что она можетъ быть быстро выдвинута почти вонъ изъ трубки, или вдвинута въ полость послѣдней до соприкасанія съ концомъ первой неподвижной проволоки. При всякомъ быстромъ и значительномъ вытягиваніи (если концы проволокъ не касались между собою металлически) подвижной проволоки изъ трубки, равно какъ при быстромъ и значительномъ вдвиганіи ея въ полость послѣдней, получается, какъ видите, мышечное сокращеніе. Если же вытягиваніе и вдвиганіе, оставаясь столь же значительными по величинѣ, производятся медленно, то сокращенія не бываетъ. Смыслъ явленій здѣсь ясенъ: при значительномъ вытягиваніи проволоки увеличивается

слой жидкости между концами металлическаго проводника — увеличивается величина препятствія въ цѣпи, слѣдовательно густота тока, идущаго по нерву, падаетъ. При обратномъ дѣйствіи послѣдняя величина, наоборотъ, возрастаетъ. Сокращеніе же мышцы получается *лишь подъ* условіемъ, если колебанія эти совершаются быстро.

Опыты Маріанини и Риттера примиряютъ, какъ я уже сказалъ, крайности явленій мышечнаго сокращенія отъ замыканія и размыканія тока. Что такое, въ самомъ дѣлѣ, начало прохожденія электрическаго тока по нерву, и что такое конецъ его? Первое есть не что иное, какъ колебаніе густоты тока въ нервѣ отъ 0 до опредѣленной величины; второе колебаніе отъ этой величины до 0. Сродство между обоими актами неоспоримо — въ обоихъ случаяхъ они представляютъ колебаніе. Но изъ опыта Риттера вы могли замѣтить, что сокращеніе мышцы происходитъ не только въ случаяхъ, когда колебаніе густоты тока начинается или оканчивается нулемъ, оно имѣетъ мѣсто и тогда, если колебаніе это начиналось и кончилось извѣстной высотой, лишь бы колебаніе происходило быстро. И потому рядъ описанныхъ здѣсь явленій можно привести къ слѣдующей общей формулѣ: движущій нервъ возбуждается всякимъ быстрымъ колебаніемъ густоты проходящаго черезъ него электрическаго тока. Матеріалы для этой формулы существовали, какъ видите, давно; но самая формула высказана была впервые дю-Буа-Реймономъ.

X.

Дальнѣйшее развитіе перваго условія возбужденія нерва электрическимъ токомъ. — Столбнякъ мышцы отъ дѣйствія на нервъ постояннымъ электрическимъ токомъ. — Электрическое возбужденіе чувствующихъ нервовъ. — Второе условіе возбужденія движущихъ.

М. Г.

Прошлый разъ вы познакомились съ первымъ условіемъ перехода нерва отъ покоя къ дѣятельности при дѣйствіи на него электрическимъ токомъ. Условіе это было формулировано такъ: движущій нервъ возбуждается всякимъ быстрымъ колебаніемъ силы

или густоты проходящаго черезъ него электрическаго тока. Вглядываясь въ эту формулу, нетрудно замѣтить, что въ нее входятъ три различныхъ фактора: сила или густота тока, величина и быстрота колебанія его. Теперь естественнымъ образомъ является вопросъ, зависитъ ли степень нервнаго возбужденія, измѣряемая величиною мышечнаго сокращенія, преимущественно отъ силы тока при прочихъ равныхъ условіяхъ, или отъ быстроты колебанія ея, или наконецъ отъ глубины колебаній. Опыты дю-Буа относительно перваго вопроса показали слѣдующее: когда сила тока, начинаясь очень малыми величинами, постепенно возрастаетъ, то при прочихъ равныхъ условіяхъ (т. е. одинаковой быстротѣ и глубинѣ колебаній) ростетъ вмѣстѣ съ этимъ и величина мышечныхъ сокращеній; но послѣдняя достигаетъ наконецъ своего maximum, и тогда, конечно, дальнѣйшее усиленіе тока остается безъ вліянія, ибо мышца, по своей организаціи, дальше извѣстнаго предѣла сокращаться не можетъ. Вотъ наипростѣйшая форма опыта, не совсѣмъ строгая [1]), но могущая ясно доказать сказанное: въ цѣпь двухъ или трехъ даніэлевскихъ элементовъ, замкнутую нервомъ движущаго аппарата, введено то же измѣнчивое по величинѣ препятствіе (реостатъ), какое описано прошлый разъ въ опытѣ Риттера; сверхъ того, мѣдная проволока (проводникъ) въ одномъ мѣстѣ прервана и оба конца ея погружены въ чашечку со ртутью. Выниманіе одного конца проволоки изъ этой чашечки производитъ размыканіе цѣпи, погруженіе — замкнутіе ея. Въ началѣ опыта подвижная проволока реостата выдвигается какъ можно больше вонъ изъ трубки (отъ этого увеличивается слой жидкости между концами проволоки—увеличивается препятствіе въ цѣпи, слѣдовательно сила тока, проходящаго по нерву, дѣлается слабой); при этомъ условіи сокращеніе мышцъ отъ замыканія и размыканія тока едва замѣтно; по мѣрѣ же вдвиганія проволоки въ трубку она постоянно возрастаетъ и достигаетъ maximum, когда въ реостатѣ концы проволокъ сошлись другъ съ другомъ. Дальнѣйшаго усиленія тока можно достигнуть увеличеніемъ

---

[1]) Ей не достаетъ инструмента, которымъ достигается всегда одинаковое по быстротѣ замыканіе и размыканіе тока, и другаго для измѣренія величины мышечнаго сокращенія; но опытъ этотъ не такъ тонокъ, чтобы нуждаться въ тонкости выполненія.

числа элементовъ. Съ цѣлью же убѣдиться въ томъ, что усиленіе тока увеличиваетъ мышечное сокращеніе лишь до извѣстнаго предѣла, мышцу связываютъ съ особымъ инструментомъ, измѣряющимъ величину мышечнаго сокращенія, и извѣстнымъ подъ именемъ міографа. Описаніе послѣдняго на этомъ мѣстѣ отвлекло бы насъ слишкомъ далеко отъ предмета, и потому я отложу его до болѣе удобнаго случая. Каждому изъ васъ было бы, конечно, интересно знать, какой силѣ тока, приложеннаго къ нерву, соотвѣтствуетъ maximum мышечнаго сокращенія. Къ сожалѣнію, отвѣтить на этотъ вопросъ нельзя: не говоря уже о громадныхъ экспериментальныхъ трудностяхъ для рѣшенія его относительно одного нерва — трудностяхъ, которыхъ вы теперь и не предчувствуете — вопросъ этотъ не можетъ быть рѣшенъ уже потому, что искомая величина измѣняется отъ одного недѣлимаго къ другому, принадлежащихъ къ одному виду, если они изслѣдуются и при совершенно тождественныхъ условіяхъ; колеблется для одного и того же недѣлимаго въ различныя времена года, наконецъ не остается постоянной даже для одного и того же нерва, если онъ изслѣдуется различное время спустя по отдѣленіи отъ тѣла. На этихъ основаніяхъ я думаю, что едва ли увѣнчается успѣхомъ и начатая въ послѣднее время Гарлессомъ попытка найдти мѣру воспріимчивости нерва къ электрическому току, т. е. опредѣлить ту силу послѣдняго, при которой нервное волокно начинаетъ приходить въ возбужденіе.

Что касается вліянія на величину мышечнаго сокращенія втораго фактора, т. е. быстроты колебанія, то вы видѣли уже въ опытѣ Риттера рѣшеніе этого вопроса. Изъ него всякій, конечно, могъ убѣдиться, что чѣмъ быстрѣе колебаніе, тѣмъ при прочихъ равныхъ условіяхъ сокращеніе мышцы значительнѣе. Тѣмъ не менѣе, опытовъ, которые бы рѣшали, первый ли или второй факторъ вліяетъ сильнѣе на величину мышечнаго сокращенія, еще нѣтъ; да они, при громадныхъ трудностяхъ экспериментальнаго выполненія задачи, едва ли и возможны. То же должно сказать и относительно опытовъ съ вліяніемъ третьяго фактора на величину нервнаго возбужденія, т. е. глубины колебанія тока, когда всѣ прочія условія равны.

Надѣюсь, вы убѣдились собственными глазами на приведенныхъ вамъ опытахъ, что все до сихъ поръ сказанное относитель-

но перваго условія возбужденія движущаго нерва электрическимъ токомъ совершенно справедливо. Въ недавнее время явились однако изслѣдованія Пфлюгера, которыя показали, что положеніе, формулирующее первое условіе возбужденія нерва, вѣрно только въ большинствѣ случаевъ, но не абсолютно. Владѣя средствами уничтожать поляризацію на границахъ соприкосновенія электродовъ съ животными частями и дѣйствуя, такимъ образомъ, токами, дѣйствительно постоянными, чего не было у дю-Буа въ его опытахъ [1]), Пфлюгеръ доказалъ, что для каждаго движущаго нерва существуетъ такая сила тока, при которой послѣдній, проходя по нерву, возбуждаетъ его не только въ моментъ замыканія и размыканія цѣпи, но и во все время, пока цѣпь замкнута, такъ что мышца приходитъ не въ мгновенное сокращеніе, а въ продолжительное, которое мы назовемъ мышечнымъ столбнякомъ. Изслѣдуя явленіе дальше, тотъ же ученый нашелъ, что такого рода продолжительное сокращеніе, начинаясь приблизительно при силахъ тока, равныхъ мышечному, отведенному отъ поперечнаго разрѣза и продольной поверхности органа (здѣсь онъ судилъ, конечно, по величинѣ постояннаго отклоненія магнитной стрѣлки, производимаго обоими токами на мультипликаторѣ дю-Буа), усиливается съ постепеннымъ возрастаніемъ силы тока, но очень скоро исчезаетъ, такъ что при дальнѣйшемъ усиленіи послѣдняго получается то, что наблюдается обыкновенно, т. е. мгновенныя сокращенія мышцы при замыканіи и размыканіи цѣпи. Если же сила постояннаго тока дѣлается сравнительно очень значительною, напр. въ цѣпи находится до 20-и большихъ элементовъ Даніэля, то мышца снова приходитъ въ столбнякъ. Между обоими столбняками въ генетическомъ отношеніи однако большая разница: тотъ, утомляя лишь нѣсколько нервъ, т. е. притупляя его воспріимчивость къ электрическому току, не убиваетъ органа:

---

[1]) Дю-Буа при раздраженіи мышцъ и нервовъ употреблялъ металлическіе концы электродовъ и прикладывалъ непосредственно къ животнымъ частямъ. Токъ, проходя по послѣднимъ, электролизировалъ пропитывающія ихъ жидкости; электролиты собирались на электродахъ — отсюда поляризація и непостоянство тока, тѣмъ болѣе сильныя, что платина, изъ которой онъ обыкновенно дѣлалъ концы электродовъ, какъ электро-отрицательный металлъ, даетъ вообще очень сильную поляризацію.

опытъ надъ однимъ и тѣмъ же нервомъ можно повторить съ различными силами тока много разъ. Здѣсь же нервъ электролизируется и умираетъ, такъ что послѣдній столбнякъ можно сравнить, напримѣръ, съ продолжительнымъ сокращеніемъ мышцы отъ постепеннаго механическаго раздавливанія нерва на большомъ протяженіи.

Теперь я опишу вамъ самую простую и удобную форму электродовъ, не дающихъ поляризаціи—не ту, которую употреблялъ Пфлюгеръ (она гораздо сложнѣе), и произведу на вашихъ глазахъ мышечный столбнякъ постояннымъ токомъ. Мѣдные приводы батареи соединяются посредствомъ приличныхъ клещей съ двумя амальгамированными цинковыми пластинками *aa*, укрѣпленными неподвижно на двухъ отдѣльныхъ стеклушкахъ *bb* и имѣющими въ планѣ форму, показанную на фиг. 27-й, а въ профили форму на фиг. 28-й. Въ послѣднемъ же чертежѣ показано, что поверхъ цинковыхъ пластинокъ лежатъ еще два слоя *c* и *d*. Первый есть бумажная подушка, имѣющая форму цинковой пластинки, пропитанная воднымъ растворомъ цинковаго купороса; а слой сверхъ нея есть бѣлочная подстилка, на которую кладется нервъ. Эти концы электродовъ, какъ видите, то же самое, что извѣстные вамъ цинковые концы мультипликатора съ ихъ бумажными подушками. Какъ однородны слѣдовательно тѣ, такъ и эти; какъ тѣ не даютъ поляризаціи, такъ и наши электроды. Чтобы ограничить мѣсто касанія нерва съ поверхностью электродовъ одними внутренними краями бѣлочныхъ подстилокъ, на свободную поверхность послѣднихъ слѣдуетъ класть тонкія стеклушки (на фиг. 27-й, на правомъ концѣ электродовъ, стеклушко обозначено точечными линіями). Эту форму электродовъ, способную ко многимъ модификаціямъ, я смѣло рекомендую даже для самыхъ тонкихъ опытовъ.

Чтобы произвести мышечный столбнякъ Пфлюгера, я беру самую постоянную гальваническую пару—элементъ Грове съ дымящейся азотной кислотой. Приводы его свинчиваю съ цинковыми концами и кладу на бѣлочныя пластинки нервъ движущаго аппарата. Въ цѣпь ввожу, сверхъ того, извѣстный вамъ риттеровскій реостатъ. Подвижная проволока послѣдняго выдвинута въ началѣ опыта на столько, что при замыканіи цѣпи нѣтъ мышечнаго сокращенія. Начинаю вдвигать проволоку внутрь трубки очень мед-

ленно. При этомъ условіи колебаніе густоты тока такъ медленно, что произвести сокращенія не можетъ, а между тѣмъ вы видите, что мышца пришла наконецъ въ столбнякъ.

Послѣ этого формулу перваго условія возбужденія нерва электрическимъ токомъ слѣдуетъ, конечно, измѣнить такимъ образомъ: въ большинствѣ случаевъ движущій нервъ возбуждается лишь быстрымъ колебаніемъ тока, но существуетъ и такая сила послѣдняго, при которой нервъ возбужденъ и во все время, пока цѣпь замкнута.

Посмотримъ теперь, какъ относится къ электрическому току чувствующій нервъ. Вы помните знаменитый опытъ Вольты съ возбужденіемъ вкусовыхъ ощущеній при наложеніи на языкъ дуги изъ разнородныхъ металловъ, т. е. при дѣйствіи на него постояннымъ электрическимъ токомъ. Ощущеніе продолжается здѣсь все время, пока цѣпь замкнута языкомъ, какой бы силы токъ ни употреблялся (разумѣется, если взять очень сильный, то рядомъ съ вкусовымъ ощущеніемъ является чувство боли, затемняющее первое) и лишь усиливается при замыканіи и размыканіи его. Всякій, дѣлавшій эти опыты на себѣ, знаетъ, конечно, что двумъ концамъ электродовъ, лежащимъ на языкѣ, соотвѣтствуютъ различныя ощущенія: ихъ единогласно называютъ кислымъ и щелочнымъ. Первое выражено значительно сильнѣе втораго и соотвѣтствуетъ положительному полюсу батареи. Судя по характеру и мѣсту ощущеній, можно думать, что въ опытѣ Вольты вкусовыя ощущенія не суть непосредственныя слѣдствія возбужденнаго состоянія нерва, а происходятъ отъ дѣйствія на волокна его продуктовъ электрическаго разложенія жидкости, смачивающей языкъ. Этимъ, конечно, объяснялось бы постоянство ощущенія при замкнутомъ состояніи цѣпи и устранялось бы различіе въ возбужденіи движущаго и чувствующаго нерва электрическимъ токомъ; но, во-первыхъ, до сихъ поръ не доказано еще никѣмъ, что вкусовыя ощущенія въ опытѣ Вольты суть единственно результаты электролиза и непосредственное возбужденіе нерва электрическимъ токомъ не играетъ въ нихъ никакой роли; во-вторыхъ, на другихъ чувствующихъ нервахъ, гдѣ электролизъ не имѣетъ никакого значенія въ ощущеніи, возбужденіе однако имѣетъ тотъ же характеръ, какъ и при раздраженіи вкусоваго нерва. Такъ бываетъ при дѣйствіи электрическимъ токомъ на чувствующіе нервы кожи и на зритель-

ный. Чтобы возбудить первые, концами электродовъ могутъ остаться мѣдныя проволоки; но токъ нужно брать сильный—большихъ элементовъ Даніэля штукъ 5 или 6. Чувство боли продолжается все время, пока по кожѣ идетъ токъ. Оптическій нервъ требуетъ для своего возбужденія менѣе сильнаго тока (элем. 2—3 Даніэля). Концы электродовъ слѣдуетъ дѣлать изъ морской губки, навязанной на приводы батареи и прикладывать ихъ смоченными водою или какимъ-нибудь индифферентнымъ солянымъ растворомъ: — одинъ къ опущенному на глазъ верхнему вѣку, другой гдѣ-нибудь по близости на лицѣ или съ боку шеи [1]). При такомъ положеніи электродовъ токъ проходитъ, строго говоря, по всему тѣлу, но дѣйствіе его ощутительно лишь въ частяхъ, близкихъ къ мѣсту положенія этихъ электродовъ. Свѣтовое ощущеніе въ закрытомъ глазу держится все время, пока токъ замкнутъ, и усиливается при началѣ и концѣ его. Электрическое возбужденіе слуховаго и обонятельнаго нервовъ неясно, чтобы говорить о немъ. Но и приведенныхъ опытовъ, конечно, достаточно для рѣшенія нашего вопроса. Изъ нихъ всякій видитъ, что разница между движущимъ и чувствующимъ нервами, относительно ихъ возбужденія электрическимъ токомъ, только количественная: первый возбуждается постоянно при замкнутомъ состояніи цѣпи лишь токами очень слабыми, тогда какъ постоянное возбужденіе втораго имѣетъ мѣсто при всякихъ силахъ раздражителя. Къ замыканію же и размыканію тока оба рода нервовъ относятся одинаково. Что касается вліянія силы тока на степень возбужденія чувствующаго нерва, то здѣсь повторяется въ общихъ чертахъ все сказанное для движущаго, съ тѣмъ только различіемъ, что мы, имѣя возможность измѣрять степень ощущенія лишь въ очень ограниченныхъ размѣ-

---

[1]) При такой формѣ концовъ электродовъ токъ входитъ и выходитъ изъ кожи чрезъ всю поверхность ея соприкасанія съ губкой. Черезъ это густота тока въ каждой отдѣльной точкѣ кожи становится, конечно, меньше, чѣмъ въ случаяхъ, когда къ ней приложенъ конецъ проводящей проволоки. Чувствующіе нервы кожи раздражаются слѣдовательно при прочихъ равныхъ условіяхъ слабѣе. Смачиваніе же губокъ соляными растворами имѣетъ цѣлью уменьшить въ нихъ самихъ и въ кожѣ, которая ими смачивается, величину препятствія электрическому току. Эту форму электродовъ употребляютъ во всѣхъ случаяхъ, когда, дѣйствуя чрезъ кожу на подлежащія части, хотятъ по возможности ослабить вліяніе тока на чувствующіе нервы общихъ покрововъ.

рахъ, не въ состоянiи опредѣлить, существуетъ ли предѣлъ усиленiю ощущенiя съ усиленiемъ раздраженiя. На этомъ же основанiи невозможно опредѣлить и влiянiя глубины и быстроты колебанiя электрическаго тока на степень возбужденiя чувствующаго нерва.

Теперь, когда мы умѣемъ приводить движущiй нервъ въ дѣятельное состоянiе, посмотримъ, не существуетъ ли такихъ условiй, при которыхъ онъ электрическимъ токомъ вовсе не возбуждается. Во всѣхъ произведенныхъ до сихъ поръ опытахъ вы, конечно, замѣтили, что электроды прикладывались къ двумъ точкамъ нерва по длинѣ его оси. Посмотримъ, что будетъ, если мы дадимъ электрическому току направленiе перпендикулярное къ продольной оси нерва. По малости поперечника этого органа, непосредственное приложенiе электродовъ къ бокамъ его было бы затруднительно, поэтому мы положимъ подъ нервъ (или поверхъ его) движущаго аппарата, лежащаго на стеклянной пластинкѣ, нитку, смоченную водой или яичнымъ бѣлкомъ, въ направленiя перпендикулярномъ къ продольной оси нерва ,и помѣстимъ концы электродовъ по обѣ стороны послѣдняго на эту нитку. Въ мѣстѣ перекрещиванiя нитки съ нервомъ, электрическiй токъ, идя по первой, даетъ вѣтвь и во второй, которая, конечно, проходитъ чрезъ нервъ перпендикулярно къ его оси. Замыкаю цѣпь, и вы видите—сокращенiя нѣтъ. Если усилить однако токъ значительно, напримѣръ взять вмѣсто одного три элемента,и помѣстить электроды на ниткѣ какъ можно ближе къ нерву, то сокращенiе всегда будетъ; и потому можно думать, что результатъ перваго опыта лежитъ лишь въ значительномъ ослабленiи тока, оттого что онъ долженъ проходить черезъ тонкую нитку, смоченную водой, которая представляетъ, какъ извѣстно, большое препятствiе. Есть однако очень простое средство убѣдиться,что дѣло здѣсь не въ томъ. Замѣтьте, при перпендикулярномъ положенiи нитки къ нерву, то разстоянiе между электродами, при которомъ перестаетъ являться мышечное сокращенiе; передвиньте нитку такъ, чтобы она дѣлала съ нервомъ болѣе или менѣе острый уголъ, и приложите къ ней электроды на величину замѣченнаго вами разстоянiя—сокращенiе,навѣрное,будетъ,но не столь сильное,какъ въ томъ случаѣ, когда нитка касается по длинѣ съ нервомъ и вы приложите къ ней электроды съ тѣмъ же взаимнымъ разстоянiемъ при этомъ условiи. Ясно, что мышеч-

чное сокращеніе при перпендикулярномъ положеніи нитки къ нерву произошло у насъ оттого, что употребленный токъ, будучи очень силенъ, далъ вѣтви по длинѣ нерва на столько сильны (фиг. 29), чтобы возбудить его. И такъ, электрическій токъ, проходя по нерву перпендикулярно къ продольной оси органа, не возбуждаетъ его; проходя подъ острымъ угломъ, возбуждаетъ, но слабѣе, чѣмъ въ случаѣ, если проходитъ по длинѣ самой оси. Обстоятельство это не лишено значенія, и будетъ, конечно, играть роль въ нашихъ будущихъ воззрѣніяхъ на устройство нерва. Его можно, напримѣръ, сравнить съ тѣмъ, когда бы вы, не имѣя ни малѣйшаго понятія объ устройствѣ телеги, вдругъ открыли, что она двигается только при толчкахъ, совпадающихъ болѣе или менѣе съ направленіемъ ея оглобель, а отъ поперечныхъ къ этому направленію не двигается съ мѣста. Теперь же фактъ этотъ составляетъ для насъ пока не болѣе, какъ второе условіе возбужденія нерва электрическимъ токомъ. Оно гласитъ такъ: движущій нервъ возбуждается электрическимъ токомъ лишь при условіи, если направленіе послѣдняго не перпендикулярно къ продольной оси перваго.

Надъ чувствующими нервами подобныхъ опытовъ дѣлано не было.

XI.

Вліяніе на степень возбужденія нерва мѣста приложенія электродовъ по длинѣ его и величины межполюснаго пространства. — Вліяніе направленія тока на возбужденіе движущаго и зрительнаго нервовъ. — Однополюсное сокращеніе.

М. Г.

Сегодня я обращаюсь къ условіямъ, при которыхъ движущій нервъ возбуждается электрическимъ токомъ болѣе или менѣе. Ихъ два: мѣсто приложенія электродовъ по длинѣ нерва, когда разстояніе между ними постоянно, и величина межполюснаго пространства (мы всегда будемъ называть такъ разстояніе между электродами, приложенными къ нерву). Для бо̀льшей простоты опытовъ мы будемъ употреблять здѣсь индукціонный токъ вторичной спирали, получаемый замыканіемъ или размыканіемъ первичной цѣпи.

Такъ какъ въ двухъ сравниваемыхъ между собою опытахъ должно ожидать разницы въ степени возбужденія нерва, измѣряемой величиною мышечнаго сокращенія, то лучше всего дѣйствовать токами очень слабыми, при которыхъ вздрагиваніе мышцы едва замѣтно. Тогда при разницѣ степеней возбужденія нерва въ одномъ опытѣ получается слабое мышечное сокращеніе, въ другомъ же оно будетъ ясно выражено, или его вовсе не будетъ. Эти опыты требуютъ, какъ видите, аппарата, измѣняющаго силу тока (чтобы найдти ту степень его, при которой получается minimum мышечнаго сокращенія); слѣдовательно, дѣйствуя замыканіемъ и размыканіемъ постояннаго, пришлось бы ввести въ цѣпь реостатъ; при индукціонномъ же аппаратѣ его ненужно: силу тока измѣняютъ бо̀льшимъ или меньшимъ приближеніемъ вторичной спирали къ первичной. Кстати вы убѣдитесь такимъ образомъ на опытѣ, что индукціонные электрическіе удары дѣйствуютъ въ сущности такъ же, какъ замыканіе и размыканіе постояннаго тока. Разница между обоими способами возбужденія, въ самомъ дѣлѣ, лишь та, что при дѣйствіи постояннымъ токомъ время между началомъ и концомъ его можно продолжить по произволу, здѣсь же начало и конецъ тока отдѣлены другъ отъ друга чрезвычайно короткимъ промежуткомъ времени и мы не властны надъ этимъ временемъ.

Начнемъ же съ перваго условія. Концы электродовъ въ этихъ опытахъ должны быть неподвижны. Здѣсь они могутъ быть и въ формѣ мѣдныхъ проволокъ, потому что разницы величинъ мышечныхъ сокращеній чрезвычайно рѣзки, слѣдовательно поляризаціи электродовъ опасаться нечего. Нервъ движущаго аппарата, изолированнаго отъ земли, лежитъ на электродахъ ближайшими точками къ мышцѣ. Вторичная спираль отодвинута очень далеко отъ первичной. Замыканіе и размыканіе первичной спирали остается, какъ видите, безъ дѣйствія. Приближаю мало по малу вторую спираль къ первой и пробую постоянно замыкать и размыкать цѣпь послѣдней. Получается наконецъ слабое мышечное сокращеніе. Если при этомъ стояніи вторичной спирали передвинуть нервъ такъ, чтобы электроды лежали близъ центральнаго конца его, то замыканіемъ и размыканіемъ тока первичной спирали получается очень сильное вздрагиваніе мышцы. Передвиньте нервъ назадъ и сокращеніе снова слабо. Если мышцу связать съ міографомъ, то легко убѣдиться, что передвиженіе мѣста раздраженія по

длинѣ нерва отъ его периферическаго конца къ центральному миллиметровъ на 5 даетъ уже ощутительное наростаніе величины мышечнаго сокращенія, а слѣдовательно и степени возбужденія нерва [1]). Фактъ, въ высокой степени интересный, но въ то же время чрезвычайно странный. Подумайте, въ самомъ дѣлѣ, актъ возбужденія нерва есть во всякомъ случаѣ актъ движенія матеріальныхъ частичекъ по длинѣ его; всякому же движенію существуетъ препятствіе. оно есть, стало быть, и въ нервѣ. Нужно было бы послѣ этого ожидать, что чѣмъ дольше отстоитъ отъ мышцы толчекъ нерву, приводящій ее въ дѣятельность, тѣмъ послѣдняя должна бы быть слабѣе, потому что путь нервному возбужденію въ этомъ случаѣ длиннѣе; а выходитъ наоборотъ. Приведу, для ясности, примѣры. Бросьте камень на покойную поверхность воды, нарушьте положеніе равновѣсія жидкихъ частицъ въ этомъ мѣстѣ—произойдетъ волненіе. Кто не знаетъ, что чѣмъ дальше отъ мѣста паденія камня, тѣмъ волны меньше? Кому не извѣстно, что звукъ, по скольку онъ обусловливается движеніемъ воздуха или другихъ матеріальныхъ частичекъ, ослабляется съ удаленіемъ отъ мѣста рожденія. Та же исторія съ пулей, пущенной изъ ружья, и вообще со всякаго рода движеніями, если оно произведено лишь однимъ толчкомъ и встрѣчаетъ со стороны среды, въ которой происходитъ, только сопротивленіе. Но можно вообразить себѣ чрезвычайно много условій, гдѣ движеніе матеріальныхъ частицъ, а вмѣстѣ съ тѣмъ и живая сила ихъ, наростаетъ по мѣрѣ продолженія движенія. Тутъ обыкновенно силы, производящія движеніе, дѣйствуютъ не мгновенно, а продолжительно, или существуютъ особенныя условія въ средѣ, гдѣ происходитъ движеніе. Снѣжныя лавины представляютъ этому очень наглядный примѣръ: разрушительное дѣйствіе лавины ростетъ по мѣрѣ ускоренія ея при паденіи и вмѣстѣ съ тѣмъ какъ она наростаетъ въ массѣ, подбирая на своемъ пути рыхлый снѣгъ. Я вамъ привелъ образъ—это, конечно, не разгадка видѣнному нами явленію, но во всякомъ случаѣ онъ поясняетъ, какимъ образомъ найденный нами фактъ можетъ

---

[1]) При такомъ постепенномъ передвиженіи электродовъ по длинѣ n. ischiadici у лягушки Пфлюгеръ замѣтилъ, что когда они дойдутъ до мѣста происхожденія отъ ствола главныхъ мышечныхъ вѣтвей (которыя отрѣзаны), то мышечное сокращеніе вдругъ значительно наростаетъ. Этому факту еще нѣтъ объясненія.

быть намекомъ на внутреннюю организацію нерва. Изъ него до сихъ поръ непоколебимо слѣдуетъ только то, что между актомъ возбужденія нерва электрическимъ токомъ и процессомъ движенія послѣдняго по проводникамъ вообще нѣтъ и тѣни сходства [1]).

Другое условіе, т. е. вліяніе межполюснаго пространства на величину мышечнаго сокращенія сливается отчасти съ только что изложеннымъ. Если въ самомъ дѣлѣ изъ двухъ сравниваемыхъ между собою опытовъ въ одномъ, для увеличенія межполюснаго пространства, который нибудь изъ электродовъ, напримѣръ ближайшій къ мышцѣ, остается неподвижнымъ, а отодвигается болѣе удаленный отъ нея, то при этомъ передвиженіи онъ приходитъ въ соприкосновеніе съ точками нерва, дающими при раздраженіи ихъ сильнѣйшее мышечное сокращеніе. Слѣдовательно, если послѣднее и усилилось бы, то мы не имѣемъ права отнести усиленіе это къ увеличенію межполюснаго пространства. Дѣло другаго рода, если получится усиленіе при передвиженіи ближайшаго электрода къ мышцѣ въ направленіи къ тому же органу: тогда усиливающее вліяніе увеличенія межполюснаго пространства на величину мышечнаго сокращенія доказано a fortiori, потому что здѣсь подвижный электродъ пришелъ въ соприкосновеніе съ точками нерва менѣе раздражительными, притомъ съ удлиненіемъ межполюснаго пространства увеличилось препятствіе въ цѣпи. Если бы даже получилось при этомъ условіи ослабленіе мышечнаго сокращенія, то нельзя было бы вывести изъ этого положительнаго заключенія до тѣхъ поръ, пока токъ, ослабѣвшій отъ увеличенія межполюснаго пространства, не былъ бы компенсированъ до прежней силы. Но и тогда уменьшеніе величины мышечнаго сокращенія не доказывало бы уменьшенія степени нервнаго возбужденія съ увеличеніемъ разстоянія между электродами, потому что тотъ изъ нихъ, который придвинулся къ мышцѣ, пришелъ въ соприкосновеніе съ точками нерва менѣе раздражительными. И такъ рѣшеніе вопроса возможно было бы лишь въ томъ случаѣ, если бы получилось уси-

[1]) Все относящееся здѣсь къ постепенному наростанію раздражительности нерва въ направленіи отъ периферіи къ центру написано значительно ранѣе, чѣмъ я получилъ работу Гейденгайна (см. лекцію XII): оставлено же безъ поправки на томъ основаніи, что въ высказанной формѣ невредитъ дѣлу.

леніе мышечнаго сокращенія при передвиженіи ближайшаго къ мышцѣ электрода въ направленіи къ тому же органу. Такіе опыты и существуютъ. Они показываютъ, что при этомъ условіи мышечное сокращеніе усиливается, притомъ отъ замыканія токовъ слабыхъ и средней силы оно становится продолжительнѣе,—принимаетъ тетаническій характеръ.

Существованіе разобранныхъ условій для чувствующихъ нервовъ, конечно, опредѣлено быть не можетъ.

Теперь мнѣ остается разобрать послѣднее условіе возбужденія нервовъ, именно направленіе тока по отношенію къ центральному и периферическому концамъ нерва. Если электродъ, идущій отъ положительнаго полюса батареи, приложенъ ближе къ центральному концу нерва, а другой ближе къ мышцѣ, то токъ называютъ нисходящимъ, при противномъ положеніи электродовъ—восходящимъ. Слѣдовательно задача наша сводится вообще на опредѣленіе разницы въ степени возбужденія нерва при дѣйствіи на него восходящимъ и нисходщимъ токомъ. Въ частности же сюда относится опредѣленіе степени возбужденія нерва при замыканіи и размыканіи токовъ обоихъ направленій, когда притомъ токи берутся различной силы. Такимъ образомъ здѣсь удовлетворится наконецъ любопытство тѣхъ, которые, слушая изложеніе условій возбужденія нерва электрическимъ токомъ, можетъ быть уже не разъ задавали себѣ вопросъ, почему до сихъ поръ не было сказано ни слова о различіи замыканія и размыканія тока относительно возбужденія нерва. Для опытовъ здѣсь нуженъ постоянный токъ (элемента 3—4 Даніэля); въ цѣпи долженъ быть реостатъ, ненарушающій этого постоянства, электроды, не дающіе поляризаціи; мѣсто приложенія ихъ къ нерву во все время опытовъ надъ ними постоянно. Эти условія опыта вамъ, конечно, понятны изъ предъидущихъ лекцій. Но здѣсь есть еще и другія. Опытъ слѣдуетъ начинать слабыми токами, чтобы не утомить сразу нерва. Наблюдая дѣйствіе замыканія и размыканія на мышечное сокращеніе, не нужно протягивать промежутокъ времени между этими двумя актами долѣе $1/2$ — 1 минуты, иначе въ результатъ опыта вводится новое условіе,— измѣненіе раздражительности нерва подъ продолжительнымъ вліяніемъ на него постояннаго тока. Замкнувши и разомкнувши токъ одинъ разъ, слудуетъ подождать минуты 2 и потомъ уже снова можно повторять ту же операцію; въ этомъ слу-

чаѣ промежутокъ времени между размыканіемъ тока и новымъ замыканіемъ растянутъ на 2 минуты для того, чтббы не произошло въ нервѣ суммированія предъидущихъ колебаній съ послѣдующими, о чемъ будетъ говорено впослѣдствіи. Къ условіямъ опыта принадлежитъ наконецъ свѣжесть нервовъ, т. е. дѣйствованіе надъ ними тотчасъ по отдѣленіи ихъ отъ тѣла (круглымъ числомъ не позже 5—10 мин. по перерѣзаніи нерва). Предлагаю таблицу относящихся сюда явленій, составленную Пфлюгеромъ на основаніи многочисленныхъ и строгихъ по выполненію опытовъ. Она справедлива не только для свѣжаго нерва, отдѣленнаго отъ тѣла, но и для находящагося въ связи съ нервнымъ центромъ.

Сила тока	восходящ. токъ.	нисходящ. токъ.
Слабый токъ	замык —сокращ. размык.—покой.	замык.—сокращ. размык.—покой.
Среднiй токъ	замык.—сокращ. размык. – сокращ.	замык —сокращ. размык.—сокращ.
Сильный токъ	замык.—покой. размык.—сокращ.	замык.—сокращ. размык.—слаб. сокращ (?).

Къ сожалѣнію, мы еще не можемъ теперь войдти въ разсмотрѣніе этой таблицы. Смыслъ ея будетъ понятенъ вамъ только послѣ знакомства съ законами измѣненія нервной раздражительности подъ вліяніемъ постояннаго тока, изъ которыхъ таблица эта вытекаетъ какъ логическое послѣдствіе.

Изъ чувствующихъ нервовъ только на зрительномъ было опредѣлено вліяніе разобраннаго нами условія. Слабые токи здѣсь недѣйствительны, по крайней мѣрѣ для большинства людей. Если же дѣйствовать сильными, то оказывается, что при восходящемъ направленіи тока по зрительному нерву свѣтовое ощущеніе сильнѣе при замыканіи, при нисходящемъ наоборотъ. Теперь достаточно пока замѣтить, что на чувствующемъ нервѣ результатъ отъ дѣйствія сильныхъ токовъ совершенно противоположенъ описанному нами для движущихъ. Фактъ очень замѣчательный. Но еще замѣчательнѣе то, что постоянное свѣтовое ощущеніе, существующее въ глазу все время, пока чрезъ нервъ его идетъ токъ, съ измѣненіемъ направленія послѣдняго мѣняетъ совершенно свой характеръ. Вотъ описаніе относящихся сюда явленій Гельмгольца: если по зрительному нерву идетъ восходящій токъ, то въ

*

началѣ его дѣйствія поле зрѣнія закрытаго глаза свѣтлѣетъ и окрашивается въ бѣловато-фіолетовый цвѣтъ; на этомъ фонѣ мѣсто вхожденія въ глазъ зрительнаго нерва является темнымъ пятномъ. Свѣтовое ощущеніе мало по малу слабѣетъ и незамѣтно исчезаетъ, если размыкать токъ постепенно. Но вслѣдъ за размыканіемъ поле зрѣнія темнѣетъ и принимаетъ красновато-желтый оттѣнокъ. При замыканіи нисходящаго тока является то же, что при размыканіи восходящаго, т. е. потемнѣніе поля зрѣнія и то же окрашиваніе, но вмѣстѣ съ тѣмъ мѣсто вхожденія зрительнаго нерва является свѣтлымъ голубымъ кружкомъ на темномъ фонѣ. Если токъ разомкнуть, то поле зрѣнія свѣтлѣетъ, а мѣсто вхожденія нерва дѣлается темнымъ пятномъ. И такъ, вы видите, что на зрительномъ нервѣ замыканіе восходящаго тока тождественно по эффекту съ размыканіемъ нисходящаго, и наоборотъ. Обстоятельство это очень важно и найдетъ себѣ объясненіе въ послѣдствіи.

Такимъ образомъ мы разобрали условія возбужденія нерва, отдѣленнаго отъ тѣла, электрическимъ токомъ. Теперь на основаніи найденныхъ нами фактовъ пора поговорить о самомъ возбужденіи вообще Но прежде этого считаю необходимымъ сказать нѣсколько словъ объ особенностяхъ дѣйствія индукціонныхъ электрическихъ ударовъ на движущій нервъ и вытекающихъ отсюда практическихъ правилъ для употребленія этой формы токовъ. Разъ уже было замѣчено, что индукціонный ударъ есть электрическій токъ, длящійся чрезвычайно короткое время, и соотвѣтствуетъ слѣдовательно быстро слѣдующему другъ за другомъ замыканію и размыканію тока гальванической пары. Стало быть его выгодно употреблять во всѣхъ случаяхъ, гдѣ хотятъ дѣйствовать, такъ сказать, только замыканіемъ и размыканіемъ тока, т. е. колебаніемъ его напряженія, и исключить по возможности вліяніе на нервъ тока постоянной силы, которое всегда существуетъ при дѣйствіи на этотъ органъ замыканіемъ и размыканіемъ гальванической пары. Но, употребляя индукціонный ударъ, какъ раздражителя, нужно быть въ одномъ отношеніи очень осторожнымъ, иначе можно впасть иногда въ большія заблужденія. Вотъ примѣръ: вы видѣли, что для возбужденія нерва электрическимъ токомъ необходимо приложить электроды къ двумъ точкамъ по длинѣ нерва, т. е. чтобы электрическій токъ проходилъ по какой-нибудь части длины всего органа.

Условіе это, повидимому, должно бы было существовать и для индукціоннаго удара, но я вамъ покажу, что здѣсь для произведенія мышечнаго сокращенія достаточно и одного провода отъ вторичной спирали индукціоннаго аппарата. Въ самомъ дѣлѣ, положимъ конецъ нерва движущаго аппарата на одинъ изъ электродовъ второй спирали (концами ихъ могутъ быть мѣдныя проволоки), сближенныхъ между собою миллиметра на 2—3; мышцы сообщимъ съ землею, напр. положимъ ихъ прямо на столъ; придвинемъ вторую спираль къ первой какъ можно ближе. При этихъ условіяхъ замыканіе и размыканіе тока первичной спирали даетъ, какъ видите, каждый разъ сокращеніе. То же самое, если вы мышцу сначала изолируете, напр. положите ее на стеклянную подставку, но потомъ сообщите ее съ землею посредствомъ вашего тѣла, т. е. приложите къ ней палецъ во время замыканія или размыканія первичной спирали. Мышечное сокращеніе произойдетъ при этихъ условіяхъ даже въ томъ случаѣ, если между электродомъ, на которомъ лежитъ центральный конецъ нерва, и мышцей нервъ перевязанъ. Сдѣлайте то же самое съ замыканіемъ и размыканіемъ простой гальванической пары (если она не чрезмѣрно сильна), или ослабьте силу индукціоннаго удара отодвиганіемъ вторичной спирали отъ первичной — и однополюсныхъ сокращеній, какъ они названы дю-Буа-Реймономъ, не увидите. Дѣло объясняется здѣсь просто: вы знаете изъ физики, что если токи вторичной спирали очень сильны, т. е. если самая спираль состоитъ изъ очень большаго числа оборотовъ проволоки и притомъ находится близко къ первичной, то при замыканіи и размыканіи тока послѣдней, когда цѣпь вторичной не замкнута и концы ея сближены между собою, между ними проскакиваетъ искра; — ясное доказательство, что на концахъ разомкнутой второй спирали противоположныхъ электричествъ накопляется столько, что они черезъ воздухъ разряжаются. Каждый электродъ второй спирали можно, стало быть, сравнить съ кондукторомъ электрической машины, на которомъ скопляется періодически электричество. Послѣ этого ясно, что оно по мѣрѣ своего рожденія должно протекать по нерву и мышцѣ въ землю, если органы эти сообщены съ одной стороны съ землею, съ другой находятся въ связи съ кондукторомъ, на которомъ періодически накопляется электричество. Процессъ этотъ можно сравнить еще съ разряженіемъ лейденской

банки чрезъ нервъ и мышцу, если первый связанъ, напримѣръ, съ внутреннею, а вторая съ наружною обкладкою. И здѣсь протекаетъ токъ по длинѣ нерва. Въ справедливости сказаннаго не трудно убѣдиться, если тщательно изолировать отъ земли весь кругъ вторичной спирали. При работахъ съ индукціоннымъ токомъ слѣдуетъ всегда имѣть въ виду это обстоятельство, иначе возможны большія заблужденія.

XII.

Общіе выводы изъ разсмотрѣнныхъ условій возбужденія нерва электрическимъ токомъ; о дѣятельномъ состояніи этого органа. — Условія электрическаго возбужденія мышцы.

М. Г.

Разобравъ условія возбужденія нерва электрическимъ токомъ, мы, собственно говоря, только коснулись начала этого ученія. Но фактическаго матеріала накопилось у насъ уже и теперь довольно; а я знаю по собственному опыту, какъ тяжело дѣйствуетъ на вниманіе масса фактовъ, не осмысленная общими выводами. Притомъ, когда фактовъ собрано уже много, всегда полезно оріентироваться между ними: этимъ выясняется путь дальнѣйшаго изслѣдованія. На этихъ только основаніяхъ я приступаю къ возможнымъ выводамъ изъ того, что уже стало намъ извѣстно, хотя, строго говоря, время для этихъ выводовъ еще не настало. Посмотримъ же прежде всего, какъ распространяется электрическій токъ по нерву, — идетъ ли онъ всегда по всей длинѣ его, какъ по проводнику, или послѣдняго рода движеніе ограничивается только межполюснымъ пространствомъ. Что раздражающій токъ проходитъ такъ или иначе по нерву, какъ по проводнику, и доказывать нечего, потому что иначе дѣйствіе его на нервъ было бы невозможно [1]). Съ рѣшеніемъ этого вопроса связано, какъ увиди-

[1]) Это положеніе не находится въ противорѣчіи, какъ это можетъ показаться съ перваго взгляда, съ тѣмъ, что сказано на стр. 81. Тамъ доказано, что между актомъ возбужденія нерва электрическимъ токомъ и прохожденіемъ послѣдняго по нерву, какъ по проводнику, лежитъ огромная разница; но отсюда еще не слѣдуетъ, чтобы оба акта не могли существовать въ нервѣ рядомъ въ одно и то же время.

те, нѣсколько другихъ; притомъ отъ него зависитъ общее воззрѣніе на одну изъ сторонъ акта возбужденія нерва электрическимъ токомъ. Вы, конечно, помните изъ физіологіи такъ называемый законъ изолированнаго движенія возбужденій по длинѣ нервныхъ волоконъ, выведенный изъ того, что мы можемъ съ одной стороны двигать отдѣльно каждую изъ мышцъ, получающихъ вѣтви отъ одного и того же нервнаго ствола, съ другой стороны способны ощущать отдѣльно впечатлѣніе почти на каждую точку чувствующихъ поверхностей нашего тѣла. Этотъ законъ требуетъ, какъ думали прежде, изолирующей оболочки для каждаго нервнаго волокна. Предположимъ, что такая оболочка въ самомъ дѣлѣ существуетъ и что она не проводитъ электрическаго тока. Возможно ли тогда прохожденіе послѣдняго по содержимому нервныхъ трубокъ, если электроды приложены къ двумъ точкамъ поверхности нерва? Конечно—возможно, если принять, что поверхность нерва смочена жидкостью, проводящей электрическій токъ; что поверхность мышцъ не имѣетъ изолирующей оболочки, и что, наконецъ, содержимое нервныхъ трубокъ проводитъ электрическій токъ. Можно предположить, что токъ, выходя изъ положительнаго электрода, вѣтвится (фиг. 30-я); одна вѣтвь его идетъ по жидкости, смачивающей поверхность нерва, къ отрицательному электроду, другая по той же жидкости — въ противоположную сторону, или къ центральному концу нерва, или къ поверхности мышцы (смотря, къ чему ближе положительный электродъ); проникаетъ отсюда въ полость нервной трубки, проходитъ всю длину ея и, выходя снова на поверхность нерва, идетъ къ отрицательному электроду. Эта-то длинная вѣтвь, можетъ быть, и возбуждаетъ нервъ. Гипотезу объ изолирующихъ оболочкахъ нервныхъ волоконъ старались подкрѣпить тѣмъ, что перевязка нерва между мышцей и мѣстомъ приложенія тока, причемъ изолирующія стѣнки нервныхъ трубокъ спадаются (слѣдовательно прохожденіе электрическаго тока внутри нервнаго волокна становится невозможнымъ), уничтожаетъ возбуждающее дѣйствіе электрическаго тока, т. е. уничтожаетъ мышечное сокращеніе. Однако гипотеза эта, а вмѣстѣ съ нею и предположеніе о возбужденіи нерва вѣтвью тока, проходящею по всей длинѣ его, несправедливы. Первая опровергается тѣмъ, что перерѣзка нерва безъ уничтоженія соприкосновенія отрѣзковъ ниже мѣста раздраженія точно такъ же уничтожаетъ мы-

шечное сокращенiе, какъ и перевязка; а здѣсь объ уничтоженiи возможности проходить электрическому току по содержимому нервной трубки не можетъ быть, конечно, и рѣчи. Второе же предположенiе опровергается тѣмъ, что наложенiе лигатуры выше мѣста раздраженiя должно бы точно такъ же уничтожить мышечное сокращенiе, какъ и лигатура ниже этого мѣста, а этого никогда не бываетъ. И такъ электрическiй токъ входитъ изъ электрода прямо въ толщу нервнаго волокна. Но, можетъ быть, онъ вѣтвится здѣсь, и мышечное сокращенiе производится лишь тою вѣтвью тока, которая проходитъ по всей длинѣ нерва и даже переходитъ въ мышцу (фиг. 31-я). И это несправедливо. Представьте себѣ, въ самомъ дѣлѣ, что мѣсто приложенiя электродовъ къ нерву постоянно удаляется отъ мышцы. Тогда путь для нашей возбуждающей вѣтви становится все длиннѣе и длиннѣе, сила тока въ этой вѣтви, слѣдовательно, постоянно ослабѣваетъ, вмѣстѣ съ тѣмъ должна уменьшаться и величина мышечнаго сокращенiя; а вы знаете, что она, наоборотъ, ростетъ съ удаленiемъ мѣста раздраженiя нерва отъ мышцы. Слѣдовательно нервъ возбуждается и въ томъ случаѣ, если электрическiй токъ проходитъ по какой-нибудь части длины его. И на сколько прохожденiе электрическаго тока по жидкому проводнику связано съ движенiемъ матерiальныхъ частичекъ, на столько можно сказать, что нервъ приходитъ каждый разъ въ дѣятельное состоянiе, когда движенiе сообщено нѣсколькимъ матерiальнымъ частицамъ по длинѣ его. На основанiи опытовъ, изложенныхъ при описанiи втораго условiя возбужденiя нерва электрическимъ токомъ, можно далѣе думать, что если толчекъ сообщенъ очень небольшому числу матерiальныхъ точекъ, то возбужденiе нерва бываетъ слишкомъ слабо, чтобы выразиться внѣшнимъ эффектомъ, т. е. мышечнымъ сокращенiемъ. Въ этомъ отношенiи чрезвычайно замѣчательно старинное наблюденiе, утверждающее, что быстрая перерѣзка нерва очень острымъ ножомъ, такъ чтобы насилiе сосѣднимъ частямъ было по возможности мало, не вызываетъ мышечнаго сокращенiя. Послѣ этого уму сама собою представляется мысль, что съ увеличенiемъ числа потрясенныхъ матерiальныхъ частицъ нерва должна увеличиваться и степень возбужденiя его (влiянiе величины межполюснаго пространства на степень нервнаго возбужденiя). Если вникнуть въ дальнѣйшiя условiя перехода нерва отъ покоя къ

дѣятельности подъ вліяніемъ электрическаго тока, то нервное волокно является органомъ, устроеннымъ такъ, что живая сила движенія, вызваннаго въ какомъ-нибудь мѣстѣ по длинѣ его, ростетъ по мѣрѣ распространенія движенія. Въ этомъ свойствѣ движущей нервной трубки лежитъ огромный физіологическій смыслъ. Она доказываетъ, что слабый толчекъ центральному концу нерва, выходящій изъ нервнаго центра, способенъ вызвать сильное мышечное сокращеніе, тогда какъ тотъ же самый толчекъ, приложенный близъ периферическаго конца того же нерва, можетъ и не возбудить послѣдняго. Этимъ объясняются, по вѣроятности, тѣ страшныя конвульсіи мышцъ, которыя встрѣчаются при незначительныхъ повидимому страданіяхъ нервныхъ центровъ Еслибъ то же самое свойство было доказано и для чувствующаго нерва (здѣсь, конечно, наоборотъ: сила ощущенія должна была бы рости по мѣрѣ удаленія раздраженія отъ нервнаго центра), то объяснилась бы та изумительная легкость, съ какою передается по нерву даже самое ничтожное движеніе отъ периферіи къ центру. Подумайте, въ самомъ дѣлѣ, отъ ножнаго пальца до головы у человѣка бываетъ чуть не сажень, а мы чувствуемъ малѣйшее прикосновеніе посторонняго тѣла къ этимъ пальцамъ.

Вотъ пока все, что я могъ сказать общаго о дѣятельномъ состояніи нерва на основаніи изложенныхъ условій возбужденія этого органа. Что же касается сущности самаго акта возбужденія, то разработка этого вопроса еще впереди [1]. До сихъ поръ мы узнали только когда нервъ возбуждается электрическимъ токомъ болѣе или менѣе сильно, или вовсе не возбуждается; нисколько не обращая вниманія на тѣ измѣненія, которыя претерпѣваютъ извѣстныя намъ электрическія свойства нерва и его раздражительность подъ вліяніемъ электрическаго тока. А измѣненій этихъ можетъ быть много, потому что мы имѣемъ возможность разнообразить въ очень обширныхъ размѣрахъ форму и степень

---

[1]) Говорить здѣсь о внѣшнемъ сходствѣ между актомъ нервнаго возбужденія и электрической индукціей, какъ это дѣлалось прежде, считаю излишнимъ, потому что послѣдняя вызывается только колебаніями индуцирующаго тока, тогда какъ нервъ возбуждается и въ продолженіе дѣйствія постояннаго тока — чувствующій всегда, движущій по крайней мѣрѣ при опредѣленной силѣ раздражителя.

раздраженія, притомъ наблюдать вліяніе послѣдняго на упомянутыя свойства не только въ моментъ самаго акта возбужденія нерва, но и въ послѣдующіе періоды времени. И такъ намъ предстоитъ изучить этотъ рядъ вопросовъ; но прежде мы должны еще обратиться къ мышцѣ и опредѣлить условія ея возбужденія электрическимъ токомъ.

При непосредственномъ раздраженіи мышца возбуждается лишь колебаніемъ густоты тока. Столбняка при замкнутомъ положеніи цѣпи, какъ это бываетъ при раздраженіи движущаго нерва постояннымъ токомъ опредѣленной силы, здѣсь до сихъ поръ не найдено. Сверхъ того мышца труднѣе возбуждается электрическимъ токомъ, чѣмъ нервъ; другими словами: для произведенія мышечнаго сокращенія при прямомъ раздраженіи мышцы требуется сильнѣйшій токъ, чѣмъ при дѣйствіи имъ на движущій нервъ ея. Доказать это, повидимому, очень легко: стоитъ только дѣйствовать поочередно на мышцу и ея нервъ слабыми токами; тогда при раздраженіи нерва получается явное сокращеніе; когда же на электроды положена самая мышца, то сокращеніе это или едва замѣтно, или его вовсе нѣтъ Противъ этихъ опытовъ возможно однако возраженіе: мышца всегда значительно толще своего нерва, слѣдовательно при одинаковой силѣ раздражающаго тока густота его въ мышцѣ значительно менѣе, чѣмъ въ нервѣ, а съ густотою тока ростетъ, какъ извѣстно, степень возбужденія послѣдняго. Чтобы устранить это возраженіе, сдѣланы были слѣдующіе опыты: на концы электродовъ, идущихъ отъ вторичной спирали индукціоннаго аппарата, значительно удаленной отъ первичной, положена мышца, а на нее нервъ движущаго аппарата. Замыкаютъ и размыкаютъ токъ первой спирали и при этомъ постепенно приближаютъ къ ней вторую, т. е. усиливаютъ индукціонный токъ. Когда мышца, лежащая непосредственно на электродахъ, еще не вздрагиваетъ, то въ другой, которой нервъ лежитъ на первой мышцѣ, уже появляются сокращенія. Понятно, что густота тока, идущая по нерву движущаго аппарата не больше, чѣмъ въ мышцѣ, лежащей на электродахъ, а между тѣмъ первый возбуждается при меньшей силѣ тока, чѣмъ послѣдняя. И такъ нервъ раздражительнѣе мышцы. Обстоятельство это, равно какъ неравномѣрное распредѣленіе нервовъ по мышцѣ, заставляютъ уже ожидать, что послѣдній органъ не во всѣхъ точкахъ одинаково

легко возбуждается электрическимъ токомъ. Опыты показали, на самомъ дѣлѣ, что мѣста наибольшей раздражительности въ мышцѣ соотвѣтствуютъ точкамъ вхожденія въ нее нервовъ; напротивъ, самыми тупыми къ электрическому току оказываются тѣ части мышцы, гдѣ микроскопъ не открываетъ нервныхъ волоконъ. Въ икряной мышцѣ лягушки, нипримѣръ, задняя, т. е. прилежащая къ кожѣ, поверхность менѣе раздражительна, чѣмъ передняя; in m. sartorio тогоже животнаго самыя нечувствительныя мѣста суть части, прилежащія непосредственно къ сухимъ жиламъ. Это обстоятельство даетъ уже, по моему мнѣнію, намекъ на то, что мышечная ткань способна сокращаться подъ вліяніемъ раздраженія и сама по себѣ, т. е. независимо отъ возбужденія распространенныхъ въ ней нервовъ. Вопросъ этотъ, поднятый въ наукѣ еще Галлеромъ, очень интересовалъ физіологовъ въ послѣднее время, и рѣшенъ весьма недавно Кюне въ пользу самостоятельности мышечной раздражительности. До работъ послѣдняго ученаго главнымъ аргументомъ въ пользу этой самостоятельности считалось извѣстное свойство американскаго яда *кураре*—парализовать движущіе нервы въ направленіи отъ ихъ периферическихъ (конечно, доступныхъ опыту) концовъ къ центру, не уничтожая въ мышцѣ способности сокращаться при непосредственномъ раздраженіи ея электрическимъ токомъ [1]). Защитники самостоятельной мышечной раздражительности говорили, что кураре совершенно убиваетъ нервъ; слѣдовательно отравленная мышца можетъ сокращаться лишь въ силу независимости раздражительности мышечной ткани отъ нервной. Противники же ихъ утверждали, что опыты съ кураре еще не доказываютъ парализованія этимъ ядомъ

---

[1]) Кураре очень трудно достать въ продажѣ, а потому желающимъ познакомиться съ дѣйствіемъ его на нервы и мышцы совѣтую употребить другой, очень распространенный въ медицинскомъ употребленіи, ядъ, — сѣрнокислый атропинъ, который, по изслѣдованіямъ профессора Боткина, представляетъ большое сходство, въ этомъ отношеніи, съ кураре. Вотъ условія и форма опыта: лягушкѣ впрыскивается подъ кожу не менѣе 0, 2 куб. центим. насыщеннаго раствора сѣрнокислаго атропина (при 26° Ц.) и животное оставляется въ покоѣ не менѣе ¼ часа. Потомъ съ задней половины его тѣла снимаютъ кожу, обнажаютъ сѣдалищный нервъ и дѣйствуютъ сильными индукціонными ударами, то на нервъ, то прямо на мышцу. Въ первомъ случаѣ, если и получается сокращеніе, то чрезвычайно слабое; при второмъ же —мышечное сокращеніе ясно выражено. Опыты съ кураре имѣютъ, конечно, ту же форму.

окончательныхъ вѣтвей нервовъ, заключенныхъ внутри мышечныхъ волоконъ; слѣдовательно способность отравленныхъ кураре мышцъ можетъ происходить отъ возбужденія именно этихъ вѣтвей. Опровергнуть это предположеніе было невозможно, пока Кюне не открылъ въ мышцѣ мѣстъ, лишенныхъ нервной ткани, и не опредѣлилъ опытомъ степени ихъ раздражительности относительно другихъ частей того же органа, болѣе или менѣе богатыхъ нервами. Опредѣливъ это различіе, онъ парализовалъ движущій нервъ внутри мышцы средствомъ болѣе могучимъ, чѣмъ кураре (объ этомъ средствѣ рѣчь впереди), сравнилъ раздражительность безнервныхъ частей мышцы съ нервными, нашелъ ее вездѣ одинаковою, и тѣмъ рѣшилъ вопросъ о самостоятельности раздражительности мышечной ткани. Относительно нашихъ будущихъ воззрѣній на механическое устройство мышцы, результатъ этотъ, конечно, важенъ; но теперь, въ физіологическомъ отношеніи, значеніе его невелико, потому что въ цѣломъ организмѣ, при нормальныхъ условіяхъ, мышечное сокращеніе есть всегда результатъ возбужденнаго состоянія движущаго нерва. И въ отдѣленной отъ тѣла мышцѣ, при прямомъ раздраженіи ея электрическимъ токомъ, вліяніе дѣятельности нервовъ очевидно. По скольку, слѣдовательно, послѣдніе распредѣлены по массѣ мышцы неравномѣрно и неправильно, по стольку изслѣдованіе втораго, третьяго и четвертаго условій возбужденія этого органа электрическимъ токомъ не можетъ привести ни къ какимъ опредѣленнымъ результатамъ. Дѣло другаго рода, еслибъ относящіеся сюда опыты были произведены надъ мышцами, въ которыхъ дѣятельность нервовъ парализована; но такихъ опытовъ еще нѣтъ [1]).

Вліяніе направленія тока на мышечное возбужденіе опредѣлено Гейденгайномъ какъ для нормальныхъ мышцъ, такъ и отравленныхъ кураре. Для насъ важны лишь послѣднія. Слабые и средней силы токи обоихъ направленій дѣйствуютъ на мышцу точно такъ же, какъ на движущій нервъ: является сначала сокращеніе только при замыканіи, съ усиленіемъ же тока и при размыканіи. Относительно же сильныхъ токовъ есть уже между мышцей и нервомъ

---

[1]) Написано раньше полученія работъ Беольда, о которыхъ говорится въ 25-й лекціи.

разница: послѣдній возбуждается, какъ вамъ извѣстно, замыканіемъ нисходящаго и размыканіемъ восходящаго тока; отравленная же мышца даетъ при прямомъ раздраженіи сильными токами сокращеніе при замыканіи и размыканіи токовъ обоихъ направленій. Рядомъ съ этими опытами Гейденгайнъ изслѣдовалъ вліяніе направленія тока на возбужденіе нормальной мышцы и нерва вмѣстѣ, т. е., прикладывая одинъ электродъ къ мышцѣ, другой къ нерву, и нашелъ рядъ явленій, получаемыхъ при раздраженіи одного нерва. Если же электроды оставались по прежнему на мышцѣ и нервѣ, густота же тока въ послѣднемъ значительно ослаблялась, то получался рядъ явленій, описанныхъ для прямаго раздраженія мышцы, отравленной кураре. Всѣ эти результаты будутъ объяснены вамъ впослѣдствіи, вмѣстѣ съ явленіями возбужденія нерва токами различныхъ направленій. Теперь же они имѣютъ еще такъ мало значенія, что распространяться о нихъ больше не стоитъ.

XIII.

Устройство міографа Гельмгольца и Пфлюгера. — Быстрота движенія возбужденія по нерву.

М. Г.

Сегодня я обращаюсь снова къ возбужденію нерва электрическимъ токомъ, но теперь мы будемъ разсматривать этотъ актъ уже независимо отъ производящихъ его условій, а заглянемъ, такъ сказать, впервые, внутрь самаго процесса, и познакомимся по крайней мѣрѣ съ его развитіемъ во времени. Если актъ нервнаго возбужденія есть въ самомъ дѣлѣ какого-нибудь рода движеніе, то для передачи его по движущему нерву отъ мѣста раздраженія къ мышцѣ (вопросъ, распространяется ли возбужденіе и въ противоположную сторону, мы оставимъ въ сторонѣ) необходимо извѣстное время. Опредѣленіе этой величины представляетъ, конечно, огромный интересъ: мы узнали бы, можетъ быть, что движенія воли передаются по нервамъ съ такою же быстротою, какъ движется электрическій токъ по проводнику, узнали бы, можетъ быть, что-нибудь другое, но во всякомъ случаѣ пріобрѣли бы понятіе объ одной изъ сторонъ занимающаго насъ процесса. Инте-

ресно было бы знать, кромѣ того, какія колебанія претерпѣваетъ величина возбужденія въ продолженіе дѣятельнаго состоянія нерва, измѣряемаго временемъ мышечнаго сокращенія: достигаетъ ли она непосредственно за раздраженіемъ наибольшей высоты и потомъ постепенно падаетъ, или сначала постепенно наростаетъ и потомъ такъ же постепенно ослабѣваетъ, или, наконецъ, величина эта претерпѣваетъ, въ теченіе даннаго времени, еще большія колебанія. Всѣ эти вопросы важны, потому что они бросаютъ свѣтъ на устройство нерва. Для рѣшенія ихъ даны средства геніальнымъ Гельмгольцомъ, устроившимъ съ этой цѣлью снарядъ, извѣстный въ наукѣ подъ именемъ *міографа*. Смыслъ этого аппарата слѣдующій: изобразить актъ мышечнаго сокращенія (слѣдовательно условно и процессъ нервнаго возбужденія) графически, такъ чтобы различные фазы развитія его сдѣлать доступными наблюденію; кромѣ того, изобразить такимъ же образомъ время между началомъ электрическаго раздраженія мышцъ или нерва и началомъ мышечнаго сокращенія [1]). Перваго онъ достигъ тѣмъ, что нижній сухожильный конецъ икряной мышцы лягушки, отдѣленной отъ тѣла вмѣстѣ съ нервомъ, связалъ съ устроеннымъ особеннымъ образомъ аппаратомъ для писанія, оканчивающимся иглою, и повѣсилъ эту мышцу вертикально предъ равномѣрно вращающимся около вертикальной оси цилиндромъ, котораго скорость можетъ быть увеличина по произволу и время каждаго оборота опредѣлено. Поверхность цилиндра коптится и игла проводится съ нею въ соприкосновеніе. Если время полнаго обращенія цилиндра очень незначительно, то пока мышца сокращается, передъ нею успѣетъ пройдти бо́льшая или меньшая часть окружности цилиндра; на поверхности послѣдняго мышечное сокращеніе и оставляетъ слѣдъ въ формѣ кривой линіи, тѣмъ болѣе растянутой, чѣмъ время одного оборота меньше. Это и даетъ возможность анализировать актъ мышечнаго сокращенія; а поскольку онъ обусловливается актомъ нервнаго возбужденія, то и прослѣдить последній въ различные періоды его развитія. Аппаратъ Гельмгольца до такой степени удовлетво-

---

[1]) Входить въ подробное описаніе этого инструмента считаю совершенно безполезнымъ, потому что онъ очень сложенъ; притомъ я знаю, по собственному опыту, что понять всѣ детали его можно лишь, имѣя передъ глазами самый аппаратъ, а не описаніе и чертежъ его.

ряетъ всѣмъ требованіямъ точности, что его, по справедливости, можно назвать анализеромъ мышечнаго сокращенія. Чтобы опредѣлить время между началомъ электрическаго раздраженія мышцы или нерва и началомъ мышечнаго сокращенія, къ описаннымъ частямъ снаряда приданъ еще такой аппаратъ, который заставляетъ пишущую иглу отмѣтить чертою на цилиндрѣ начало раздраженія. Тогда простое измѣреніе разстоянія этой черты отъ мѣста поднятія кривой надъ прямою, соотвѣтствующею покойному положенію мышцы (эта прямая линія принимается за абсциссу, а высоты поднятія пишущаго снаряда надъ нею въ различные періоды мышечнаго сокращенія за ординаты), даетъ требуемую величину, разумѣется, если время оборота цилиндра извѣстно. Наибольшая ордината кривой мышечнаго сокращенія принимается вообще мѣриломъ степени послѣдняго; а потому описанный нами инструментъ, кромѣ значенія анализирующаго снаряда, имѣетъ еще смыслъ измѣрительнаго. Имѣя въ виду исключительно послѣднюю цѣль, Пфлюгеръ измѣнилъ нѣсколько аппаратъ Гельмгольца, упростилъ его и сдѣлалъ тѣмъ доступнымъ для большинства. Міографъ Пфлюгера играетъ очень важную роль въ современныхъ электрофизіологическихъ изслѣдованіяхъ, и потому я кстати опишу его здѣсь прежде, чѣмъ приступлю къ изложенію результатовъ, полученныхъ Гельмгольцомъ съ помощью его снаряда. Въ міографѣ Пфлюгера цилиндръ замѣненъ шлифованной плоской стеклянной пластинкой *o* (фиг. 32), которая коптится. Между двумя сравниваемыми по величинѣ мышечными сокращеніями пластинка передвигается передъ пишущимъ снарядомъ по желобкамъ металлической рамы *pqr* рукою. Мышечное сокращеніе оставляетъ на пластинкѣ слѣдъ въ формѣ прямой линіи. Пишущій аппаратъ состоитъ изъ мѣдной рамы *b*, вращающейся между устоями *aa* около оси *hi*. Къ послѣдней придѣланъ рычагъ *l* съ передвигающеюся по немъ тяжестью *m*, которая во всякомъ положеніи можетъ быть укрѣплена неподвижно винтомъ *n*, — это противовѣсъ относительно тяжести рамы *b*. Съ противоположнаго конца послѣдней, между ея продольными боками, утвержденъ валикъ, вращающійся около оси параллельной *hi*. Къ валику придѣланъ снизу металлическій штифтъ съ подвижной иголкой и подвижнымъ сверху внизъ рычагомъ, съ такимъ же противовѣсомъ, какъ на задней части рамы. Чѣмъ выше рычагъ стоитъ на штифтѣ и противовѣсъ отодвинутъ дальше

назадъ, тѣмъ конецъ иглы *S* подается больше впередъ и сильнѣе нажимаетъ на стекло, если уже касался его прежде. Къ штифту прикрѣплена, сверхъ всего, нить *t*, которая навита другимъ концомъ на подвижный валикъ *u*, вращающійся между устоями *aa*. Въ началѣ опыта нить на столько свивается съ валика, чтобы конецъ иглы свободно касался поверхности стеклянной пластинки и въ моментъ, когда мышца сократилась до maximum. Послѣдняя связана съ рамой *b* не прямо, а такимъ образомъ: поперечная перекладина *c* рамы *b* имѣетъ снизу остріе; она опирается въ соотвѣтствующее углубленіе маленькой четырехугольной металлической рамки *d*, имѣющей сверху отростокъ съ ушкомъ, въ который продѣвается одинъ конецъ S—образнаго крючка, продѣтаго другимъ концомъ сквозь сухую жилу мышцы; снизу же къ рамкѣ *d* привѣшена чашечка *g* для отягощенія мышцы. При такой связи рамы *b* съ мышцей, послѣдняя во время сокращенія, т. е. при своемъ укорочиваніи, не выходитъ изъ вертикальнаго положенія, а это очень важно, потому что мы измѣряемъ величину вертикальнаго укорочиванія. Наиболѣе употребительный при опытахъ съ этимъ инструментомъ мышечно-нервный движущій аппаратъ приготовляется слѣдующимъ образомъ: по снятіи кожи съ заднихъ конечностей убитой лягушки, перерѣзывается ахиллева жила и икряная мышца отдѣляется отъ прочихъ мышцъ голени, оставаясь въ связи съ бедренной костью. Сквозь ахиллеву жилу продѣвается крючокъ. Изъ бедра отсепаровывается n. ischiadicus, перерѣзывается болѣе или менѣе высоко и опрокидывается на икряную мышцу. За тѣмъ кость бедра очищается отъ всѣхъ мышцъ и перерѣзывается на половинѣ своей высоты. Потомъ отрѣзываютъ голень немного ниже колѣннаго сочлененія. Аппаратъ готовъ и состоитъ такимъ образомъ изъ икряной мышцы съ нервомъ, висящій на отрѣзкѣ бедренной кости. Послѣдній ущемляется въ клещи *yz*, ходящіе снизу вверхъ по устью *u*. Мышца спускается сквозь щель *λλλ* мѣдной доски *εε*, двигающейся по тому же устою *u* и въ тѣхъ же направленіяхъ, что и клещи *yz*. Доска *εε* служитъ основаніемъ четырехугольному стеклянному ящику *чч*, ограничивающему пространство, въ которомъ находится изслѣдуемый нервъ. Подъ стеклянный колпакъ кладутъ на доску *εε* смоченную водою бумагу; оттого воздухъ здѣсь всегда насыщенъ болѣе или менѣе водяными парами, что предотвращаетъ засыханіе нерва во

время опытовъ. Изъ описанія ясно, что мышца отягощается рамой *b* тѣмъ болѣе, чѣмъ тяжесть *m* стоитъ на своемъ рычагѣ ближе къ этой рамѣ. Понятно также, что, удаляя *m* отъ послѣдней, можно достигнуть наконецъ такого положенія противовѣса, когда отягощеніе мышцы рамою *b*=0. Тогда можно дѣйствовать или съ мышцей вовсе неотягощенной, или измѣнять величину ея отягощенія по произволу, кладя разновѣски на чашку *g*. Пфлюгеровскіе электроды,не дающіе поляризаціи, очень сложны, и потому у меня къ его міографу приданы извѣстные вамъ цинковые(фиг. 33). Близъ конца щели λλ, чрезъ который опускается внизъ мышца, по обѣимъ сторонамъ щели прикрѣплены воскомъ съ канифолью стеклянныя пластинки *aa*, а на нихъ посредотвомъ той же смѣси цинковыя полоски *bb*, изогнутыя на одномъ изъ краевъ подъ прямымъ угломъ. Къ нимъ-то и прикрѣпляются приводы батареи. Поверхъ цинковыхъ пластинокъ кладется, разумѣется, бумага, пропитанная растворомъ цинковаго купороса, а поверхъ ея бѣлочная подстилка съ стеклушками. Смотря по надобности, можно укрѣпить не одну, а двѣ пары цинковыхъ электродовъ. Чтобы проволоки, идущія отъ послѣднихъ, не топырились и не занимали тѣмъ много мѣста подъ колпакомъ, можно, отступя отъ электродовъ, къ противоположному концу щели наклеить поперегъ послѣдней на доску εε стеклянную пластинку *c*, такъ чтобы между нею и концомъ щели оставалось небольшое отверстіе—чрезъ него и вывести проволоки вонъ изъ-подъ колпака.

Обращаюсь теперь къ вопросамъ, обозначеннымъ въ началѣ лекціи, и прежде всего къ быстротѣ передвиженія возбужденія по движущему нерву. Міографъ Гельмгольца, какъ было уже сказано, даетъ возможность непосредственно измѣрять на поверхности цилиндра время между началомъ раздраженія нерва и наступленіемъ мышечнаго сокращенія. Понятно, что графическое выраженіе этой величины, — извѣстная часть окружности цилиндра, — будетъ тѣмъ больше, чѣмъ далѣе отъ мышцы лежитъ по нерву мѣсто раздраженія. Слѣдовательно, сдѣлавъ на одномъ и томъ же нервѣ рядомъ два опыта, изъ которыхъ въ первомъ разстояніе мѣста раздраженія отъ мышцы лежитъ далѣе, чѣмъ въ второмъ, положимъ на 20 мил., мы получимъ два различныя разстоянія отъ начала раздраженія до наступленія сокращенія. Разница между этими разстояніями и покажетъ, сколько времени потребно возбуж-

денію для перехода по части нерва длиною въ 20 миллим. Способъ этотъ показываетъ, дѣйствительно, чрезвычайно наглядно, что для движенія возбужденія по нерву нужно время; но для точнаго измѣренія скорости этого движенія онъ одинъ употребленъ быть не можетъ. Въ самомъ дѣлѣ прямая линія (собственно дуга), выражающая эту величину, выходя на инструментѣ Гельмгольца очень короткою (1, 2, 3 миллим.), не имѣетъ въ то же время тонкихъ границъ: съ одной стороны она органичивается чертою, которая какъ ни тонка, все-таки имѣетъ измѣримую ширину; съ другой же—предѣлъ ея данъ мѣстомъ поднятія кривой надъ абсциссой (см. фиг. 35-ю въ слѣдующей лекціи), а точку начала этого поднятія, по причинѣ сліянія двухъ линій, опредѣлить точно невозможно. При нашихъ же измѣреніяхъ уже и сотыя доли миллиметра имѣютъ большое значеніе. На этомъ основаніи Гельмгольцъ употребилъ для рѣшенія вопроса другой способъ, болѣе вѣрный; основанный на извѣстномъ наблюденіи Пуллье, что въ одномъ и томъ же гальванометрѣ, при дѣйствіи на стрѣлку токами одной и той же силы, но продолжающимися различное и чрезвычайно короткое время, между величиною отклоненія стрѣлки и продолжительностью тока всегда существуетъ извѣстное отношеніе. Имѣя эти данныя, можно, слѣдовательно, вообще измѣрять отклоненіемъ магнитной стрѣлки короткіе промежутки времени. Въ нашемъ случаѣ задача Гельмгольца состояла въ слѣдующемъ: ввести въ цѣпь постояннаго тока, кромѣ гальванометра, нервъ, связанный съ мышцей, такъ чтобы замыканіе этой цѣпи дѣйствовало въ одно и то же время на нервъ и гальванометръ; ввести, сверхъ того, въ цѣпь такой механизмъ, который размыкалъ бы ее при самомъ началѣ мышечнаго сокращенія. Тогда токъ будетъ дѣйствовать на стрѣлку лишь въ продолженіе времени отъ начала раздраженія нерва до наступленія мышечнаго сокращенія. Вотъ шематическое изображеніе аппарата, устроеннаго Гельмгольцомъ, и форма опытовъ съ нимъ (фиг. 34-я).

Нервъ *N*, связанный съ вертикально повѣшенной мышцей ***M***, раздражается въ двухъ послѣдующихъ опытахъ на различныхъ разстояніяхъ отъ мышцы, въ точкахъ *a* и *b*, индукціонными ударами вторичной спирали *Q*, соотвѣтствующими размыканію цѣпи первичной ***P***. Послѣдняя приводится въ дѣйствіе гальваническимъ элементомъ ***K***. Цѣпь ея ***KLAP*** держится замкнутой; но въ точкѣ

O она легко можетъ быть разомкнута: если надавить внизъ конецъ *B* коромысла *ACB*, вращающагося около оси *C*, то другой конецъ этого коромысла *A* поднимается кверху и металлическое сообщеніе между *A* и *L* прерывается. Конецъ *B* коромысла *ACB* виситъ свободно и при давленіи внизъ можетъ двигаться до тѣхъ поръ, пока не упрется въ подставку *R*. Съ этимъ концомъ деревяннаго коромысла связанъ, посредствомъ металлической пластинки, одинъ изъ полюсовъ другаго гальваническаго элемента *H*. Въ цѣпи послѣдняго, сверхъ гальванометра *E*, находится металлическій отростокъ *G* четырехугольной рамы, оканчивающійся сверху крючкомъ, продѣтымъ чрезъ мышечное сухожиліе, внизу же едва прикасающійся къ поверхности ртути въ чашкѣ *F*. Цѣпь элемента *H* не замкнута. Опытъ начинается тѣмъ, что утолщеннымъ металлическимъ концомъ проволоки *D* нажимаютъ на металлическую пластинку конца *B* коромысла *ACB*. При этомъ съ одной стороны замыкается цѣпь элемента *H*, слѣдовательно токъ начинаетъ дѣйствовать на магнитную стрѣлку гальванометра *E*; съ другой стороны отъ нажиманія *B* внизъ конецъ *A* коромысла *ACB* поднимается вверхъ, цѣпь первичной спирали размыкается и нервъ раздражается токомъ, являющимся во вторичной спирали *Q*. И такъ начало раздраженія нерва совпадаетъ съ началомъ дѣйствія тока на магнитную стрѣлку. За раздраженіемъ нерва слѣдуетъ мышечное сокращеніе; при этомъ рама съ своимъ отросткомъ *G* приподнимается кверху, нижній конецъ отростока выходитъ изъ металлическаго соприкосновенія со ртутью, слѣдовательно цѣпь элемента *H*, дѣйствовавшаго на гальванометръ, размыкается. Стало быть, электрическій токъ вліялъ на магнитную стрѣку въ теченіе времени отъ начала раздраженія нерва до наступленія мышечнаго сокращенія.

Такого рода измѣренія дали Гельмгольцу слѣдующаго рода результаты: возбужденіе распространяется по движущему нерву лягушки, при различныхъ физіологическихъ условіяхъ, различное время. Среднимъ числомъ для температуръ между 11° и 21° Ц. оно проходитъ 26,4 метра въ секунду [1]. При охлажденіи нерва

---

[1]) Приблизительное опредѣленіе этой величины сдѣлано было Гельмгольцомъ и для нервовъ живаго человѣка. Въ этихъ опытахъ начало тока, дѣйствующаго на магнитную стрѣлку, вызывало въ кожѣ производителя опыта ощущеніе.

*

быстрота движенія значительно замедляется. Такъ же дѣйствуетъ усталость нерва и мышцы и отравленіе животнаго кураре. Вы видите, передача движеній воли по нервамъ совершается вовсе не такъ быстро, какъ думали прежде древніе и какъ думаютъ до сихъ поръ поэты. Она происходитъ даже очень медленно въ сравненіи съ быстротою распространенія свѣта или электричества. Я слышалъ отъ дю-Буа-Реймона, что когда онъ сообщилъ открытіе Гельмгольца Гумбольдту, тотъ сравнилъ быстроту распространенія возбужденія по движущимъ нервамъ съ быстротою урагана. Изъ результата при дѣйствіи кураре можно заключить, сверхъ того, что энергія нервной дѣятельности стоитъ въ прямомъ отношеніи къ проводимости нервомъ возбужденія; можно думать именно, что этотъ ядъ, увеличивая сопротивленіе движенію возбужденія по нерву, ослабляетъ живую силу толчка, сообщеннаго нерву въ извѣстномъ отдаленіи отъ мышцы. Это воззрѣніе конечно очень правдоподобно для яда, но возводить его въ общее правило нельзя, потому что дѣятельность нерва при охлажденіи, судя по величинѣ окончательнаго эффекта, т. е. по величинѣ мышечнаго сокращенія, не ослабляется, а между тѣмъ опытъ показывалъ Гельмгольцу, что движеніе возбужденія по нерву, охлажденному до 0°, замедляется почти въ десять разъ противъ нормальнаго. Можетъ быть охлажденіе не вліяетъ на тотъ механизмъ нерва, которымъ обусловливается въ немъ наростаніе возбужденія по мѣрѣ распространенія послѣдняго, а кураре уничтожаетъ именно это свойство нервнаго волокна. Все это, конечно, предположенія, вопросы для будущаго, но вы видите еще разъ, что строгое физическое изслѣдованіе свойствъ нерва навело насъ на рядъ мыслей, касающихся самыхъ интимныхъ, самыхъ существенныхъ сторонъ процесса нервнаго возбужденія.

Вслѣдъ за появленіемъ послѣдняго экспериментаторъ старался какъ можно быстрѣе произвести мышечное движеніе, которымъ размыкался токъ, дѣйствующій на стрѣлку гальванометра. Такимъ образомъ время отъ начала до конца тока соотвѣтствовало движенію возбужденія по чувствующему нерву въ центръ, а оттуда по длинѣ движущаго. Рядъ такихъ опытовъ, въ которыхъ раздраженіе чувствующихъ волоконъ бралось на болѣе или менѣе близкихъ разстояніяхъ отъ нервнаго центра, привелъ Гельмгольца для человѣка къ числу 80 метровъ въ 1″.

XIV.

Анализъ акта мышечнаго сокращенія.—Слѣды электрическаго удара въ движущемъ нервѣ. — Суммированіе эффектовъ электрическихъ ударовъ одного и того же направленія въ движущемъ нервѣ. — Тѣ же явленія въ зрительномъ нервѣ.

М. Г.

При описаніи инструмента Гельмгольца я его назвалъ анализёромъ мышечнаго сокращенія, и такое названіе оправдывается тѣмъ, что при помощи міографа это быстротечное движеніе оставляетъ по себѣ явственный образъ, дающій возможность слѣдить за развитіемъ процесса во времени. Обстоятельство это въ высокой степени важно, потому что только этимъ путемъ мы можемъ дойдти до знакомства съ характеромъ силъ, участвующихъ въ движеніи мышцы. Методъ Гельмгольца допускаетъ, въ самомъ дѣлѣ, возможность разнообразить въ чрезвычайно обширныхъ предѣлахъ условія мышечнаго сокращенія, и потому онъ уже давно заключаетъ въ себѣ задатки быстраго развитія вопроса. Къ сожалѣнію, сложность инструмента мѣшала до сихъ поръ распространенію его въ кругу физіологовъ, и это было главною причиной, что только въ самое послѣднее время явились изслѣдованія, служащія продолженіемъ работъ, начатыхъ Гельмгольцомъ. Мы разберемъ здѣсь однако только главнѣйшія изъ этихъ различныхъ условій, потому что наша главная задача состоитъ въ указаніи пути къ развитію вопроса. Слѣдуетъ начинать, конечно, съ сокращенія мышцы при ея непосредственномъ раздраженіи, когда въ ней парализована притомъ воспріимчивость нервовъ къ раздраженію, напримѣръ посредствомъ кураре; наблюдать форму мышечнаго сокращенія при различныхъ отягощеніяхъ, начиная отъ 0; разнообразить форму раздраженія, т. е. дѣйствовать замыканіемъ и размыканіемъ постояннаго тока въ различныхъ направленіяхъ, или индукціонными ударами; мѣнять силу раздраженія, мѣста приложенія электродовъ, разстояніе между ними и пр.; то же самое дѣлать потомъ съ мышцей, въ которой нервы не парализованы; наконецъ наблюдать форму мышечнаго сокращенія при раздра-

женіи не мышцы, а нерва. Изслѣдованія въ указанномъ направленіи представляютъ еще очень много пробѣловъ.

Мы выберемъ сокращеніе мышцы при непосредственномъ ея раздраженіи индукціонными ударами средней силы и при различныхъ отягощеніяхъ; потомъ тѣ же условія при раздраженіи нерва. Сравненіе мышцы съ парализованными и неотравленными нервами не открыли замѣтнаго различія въ формѣ ихъ сокращенія. Поэтому кривая, изображенная на фиг. 35-й, относится равно къ отравленной и неотравленной мышцѣ. Фигура сокращенія представлена въ увеличенномъ нѣсколько видѣ и получена при непосредственномъ раздраженіи мышцы. Въ ней линія *AB* соотвѣтствуетъ покойному положенію мышцы, ее мы примемъ за абсциссу кривой *abcdB*, а линіи *aa*, *bb* и пр., выражающія величины мышечнаго укорачиванія и растяженія въ различные періоды сокращенія —за ординаты. Черта при *O* обозначаетъ начало раздраженія; *i*— начало мышечнаго сокращенія. Прежде всего бросается, конечно, въ глаза, что начало мышечнаго сокращенія не совпадаетъ съ моментомъ раздраженія (продолжительность размыкательнаго индукціоннаго удара такъ мало, что въ сравненіи съ разсматриваемыми здѣсь величинами времени можетъ считаться нулемъ). Отчего же зависитъ это опозданіе мышечнаго сокращенія относительно времени раздраженія? Если бы это явленіе получалось только на отягощенныхъ мышцахъ, тогда можно было бы думать, что оно обусловливается противодѣйствіемъ (растяженіемъ) тяжести акту мышечнаго укороченія; но оно получается и на мышцахъ вовсе неотягощенныхъ. Можно было бы думать далѣе, что въ основѣ этого замедленія лежитъ время, потребное для передачи возбужденія по внутремышечнымъ нервамъ отъ мѣста раздраженія до сліянія ихъ концовъ съ мышечными волокнами. Но и это несправедливо, потому что замедленіе бываетъ и при раздраженіи мышцъ, отравленныхъ кураре. Какъ же объяснить себѣ это явленіе скрытаго раздраженія (такъ принято называть его со времени изслѣдованій Гельмгольца)? Ничего не остается болѣе, какъ принять, что толчекъ, сообщенный частицамъ мышцы электрическимъ ударомъ (идетъ ли онъ чрезъ нервы, или прямо — все равно), вызываетъ въ нихъ рядъ колебаній, суммирующихся по эффекту и мышечное сокращеніе является лишь по истеченіи времени, когда сила возбужденія наросла до извѣстной степени. Можно думать также, что

физіологическій эффектъ раздраженія мышечнаго волокна является лишь тогда, когда возбуженіе распространилось по своей длинѣ его, для чего нужно, конечно, время. Рѣшенію этихъ вѣроятностей много помогло бы изслѣдованіе вліянія на продолжительность періода скрытаго раздраженія мѣста, приложенія электордовъ по длинѣ органа, направленія токовъ и величины разстоянія между электродами. Къ сожалѣнію, этихъ изслѣдованій еще нѣтъ. Съ другой стороны уже существуютъ такія, которыми опредѣляется быстрота распространенія возбужденія по длинѣ мышечной фибры. Эти работы я знаю только по реферату, въ которомъ не описанъ методъ. Быстрота найдена приблизительно равною 1-му метру въ 1″. Выше было замѣчено, что a priori усиленіе отягощенія мышцы, при прочихъ равныхъ условіяхъ, должно замедлять наступленіе мышечнаго сокращенія. Опытъ и показываетъ это на самомъ дѣлѣ. Объясненіе здѣсь просто. Мышца, какъ всякое эластическое тѣло, постоянно растягивается подъ вліяніемъ повѣшенной на нее тяжести, и тѣмъ сильнѣе въ каждую единицу времени, чѣмъ отягощеніе больше. Такимъ образомъ раздражаемая мышца находится подъ вліяніемъ двухъ силъ, изъ которыхъ одна тянетъ ее книзу, другая кверху; послѣдняя дѣйствуетъ притомъ не сразу, а постепенно. Ясно, что чѣмъ сильнѣе разстягиваніе, тѣмъ позднѣе должно наступать время поднятія тяжести надъ тѣмъ положеніемъ, которое она занимала въ пространствѣ (надъ абсциссой) при началѣ опыта.

Интересно было бы однако знать, вліяетъ ли величина отягощенія на продолжительность скрытаго раздраженія, когда тяжесть не растягиваетъ мышцу, передъ ея раздраженіемъ и въ самомъ началѣ его. Строго говоря, нашъ вопросъ рѣшается только при этомъ условіи. Удалить растяженіе мышцы очень легко: стоитъ только подпереть повѣшенную на нее тяжесть, когда послѣдняя растянула нѣсколько мышцу, и потомъ раздражать. Гельмгольцъ такъ и дѣлалъ, и результаты опыта остались тѣ же. И это очень понятно. Положимъ, на мышцу повѣшено въ одномъ случаѣ 50 грамм., въ другомъ 100. Первая подперта въ то время, когда мышца вытянулась на длину, соотвѣтствующую ея окончательному вытяженію 20-ю грамм.; вторая на длину, соотвѣтствующую вытяженію 40 грамм. При этомъ условіи эластическое напряженіе 1-й мышцы = 20 грамм., 2-й = 40 грамм.; это значитъ:

малѣйшаго усиленія эластическихъ напряженій достаточно, чтобы поднять въ одномъ случаѣ 20 грамм, въ другомъ 40. Но вѣдь на мышцахъ виситъ 50 и 100; слѣдовательно прежде чѣмъ тяжести пойдутъ кверху, эластическое напряженіе въ первой мышцѣ должно наpости до величины =50 грамм, въ другой до 100 грамм. Времена этого наростанія, конечно, не могутъ быть равны, такъ какъ мышечное сокращеніе происходитъ постепенно, и тѣмъ болѣе, что сокращающаяся мышца, какъ извѣстно, растяжимѣе покоющейся, стало быть въ нашемъ примѣрѣ въ первый моментъ сокращенія мышцъ ихъ эластическія напряженія становятся, строго говоря, менѣе 20 и 40 грамм.

И такъ наростаніе періода скрытаго раздраженія мышцы съ усиленіемъ ея отягощенія зависитъ единственно отъ эластическихъ свойствъ сокращающагося органа. Обратимся теперь къ самой кривой. Часть ея отъ i до a обращена выпуклостью къ абсциссѣ, участокъ ab наоборотъ, bc снова вогнутъ. Что значатъ эти измѣненія хода кривой? Не забудьте, на мышцѣ во все время ея укорачиванія виситъ тяжесть, которая въ каждой точкѣ кривой тянетъ мышцу съ постоянною силою книзу, и вытягивающее дѣйствіе ея тѣмъ значительнѣе, что сокращающаяся мышца, какъ вамъ извѣстно, растяжимѣе покоющейся. А между тѣмъ тяжесть поднимается кверху. Это, конечно, доказываетъ, что въ началѣ движенія развилась въ мышцѣ сила, преодолѣвшая дѣйствіе тяжести. Пусть точка i (фиг. 36-я), подъ совокупнымъ вліяніемъ этихъ противодѣйствующихъ силъ, пришла въ первую единицу времени ik въ точку a'. Еслибъ отсюда ей былъ сообщенъ со стороны мышцы толчокъ, который только уравновѣсилъ бы дальнѣйшее дѣйствіе тяжести, то въ другую единицу времени kl точка i пришла бы въ направленіи прямой въ точку a''. Если же толчекъ со стороны мышцы былъ сильнѣе дѣйствія тяжести, то, конечно, i стояло бы выше a'', напр. въ a. Наоборотъ, если бы толчокъ мышцы былъ слабѣе дѣйствія тяжести, то i стояло бы ниже a'', напримѣръ въ a'''. Вообразите себѣ, что на точку i въ безконечно малые промежутки времени дѣйствуютъ со стороны сокращающейся мышцы толчки, превышающіе дѣйствіе тяжести: тогда она будетъ подниматься кверху по вогнутой линіи; въ противномъ случаѣ, наоборотъ, по выпуклой. И такъ вогнутость ia кривой $iabcdB$ (фиг. 35-я) показываетъ, что здѣсь движеніе ускоритель-

ное кверху; притомъ въ каждой точкѣ этого участка эластическое напряженіе мышцы болѣе повѣшенной на нее тяжести. Въ части кривой *bc* наоборотъ тяжесть поднимается съ уменьшающеюся скоростью и эластическое напряженіе мышцы здѣсь вездѣ менѣе тяжести.

Послѣ этого ясно, что на границѣ перехода вогнутости въ выпуклость, въ точкѣ *a* эластическое напряженіе мышцы должно быть равно тяжести. Подобными же разсужденіями легко дойдти до объясненія значенія выпуклостей и вогнутостей въ нисходящей части кривой *iabcdB*, т. е. въ части ея, лежащей по другую сторону наибольшей высоты мышечнаго сокращенія. Тамъ вогнутость показываетъ опусканіе тяжести съ уменьшенною скоростью, а выпуклость съ увеличивающеюся.

Послѣ сказаннаго уже нетрудно понять, что̀ въ міографической кривой досталось на долю силъ, развившихся въ мышцѣ ея раздраженіемъ, и что̀ произведено эластическими свойствами мышечной ткани. Безъ отягощенія мышцы участокъ *ia* поднимался бы надъ абсциссой круче, чѣмъ теперь; выпуклость *bc*, можетъ быть, сгладилась бы вовсе, но во всякомъ случаѣ стала бы площе; наконецъ въ нисходящей части міографической кривой не было бы тѣхъ рѣзкихъ періодическихъ колебаній около измѣнчивыхъ положеній равновѣсія (точки перехода отъ выпуклостей къ вогнутостямъ), которыя замѣчаются теперь. Колебанія эти имѣютъ въ самомъ дѣлѣ совершенно характеръ колебаній эластической нити, которая была растянута подпертою тяжестью и подпорка вдругъ отнята. Нить въ первый моментъ сильно растягивается, ея эластическое напряженіе заходитъ за предѣлы, соотвѣтствующіе тяжести; отъ этого она снова укорачивается; здѣсь укороченіе опять заходитъ за предѣлы, соотвѣтствующіе удлиненію данной тяжестью—новое растяженіе и т. д.

И такъ, теперь мы имѣемъ уже право думать, что независимо отъ побочныхъ колебаній сила, развиваемая въ мышцѣ ея раздраженіемъ, постоянно наростаетъ до моментовъ, предшествующихъ непосредственно наибольшему укороченію мышцы. Здѣсь же механическій эффектъ возбужденія совершенно прекращается.

Теперь остается сказать нѣсколько словъ о треніи внутри мышцы.

Треніе вообще противодѣйствуетъ движущей силѣ, притомъ оно пропорціонально величинѣ движенія. Слѣдовательно въ восходящей части міографической кривой треніе противодѣйствуетъ силѣ поднятія тяжести, и больше въ вогнутыхъ частяхъ, чѣмъ въ выпуклыхъ. Въ нисходящей же части кривой мышечнаго сокращенія это самое треніе противодѣйствуетъ тяжести, растягивающей мышцу. Что касается до величины внутремышечнаго тренія, то уже многочисленность колебаній въ нисходящей части кривой показываетъ, что она должна быть незначительна. Слѣдовательно вообще треніе уменьшаетъ нѣсколько высоту поднятія тяжести, но формы кривой не измѣняетъ. Она остается тою же и при дѣйствіи индукціонными ударами не на мышцу, а на ея нервъ. Разница вся въ томъ, что здѣсь, конечно, удлиняется періодъ скрытаго раздраженія на то количество времени, которое нужно для передвиженія возбужденія по нерву отъ мѣста его раздраженія до мышцы. Такимъ образомъ опытъ показываетъ, что возбужденіе мышечной ткани остается въ сущности одинаковымъ, будетъ ли она раздражаема прямо, или чреэъ посредство своихъ нервовъ. Далѣе мы узнали, что быстрота распространенія возбужденія по нерву несравненно больше, чѣмъ по мышечному волокну; и наконецъ сейчасъ увидимъ, что молекулярное движеніе, вызванное въ нервѣ электрическимъ ударомъ, не прекращается вмѣстѣ съ механическимъ эффектомъ, произведеннымъ имъ, т. е. когда мышца при своемъ сокращеніи достигла наибольшаго укороченія, а продолжается и далѣе. Если въ самомъ дѣлѣ считать круглыми средними числами, то время скрытаго раздраженія при дѣйствіи индукціоннымъ ударомъ продолжается около $^1/_{100}''$, время укорачиванія и растяженія мышцы $^1/_6''$. Слѣдовательно круглымъ числомъ отъ начала индукціоннаго удара (продолжительность самаго удара считать нечего, потому что она, какъ вамъ извѣстно, очень мала) до конца мышечнаго сокращенія проходитъ менѣе $^1/_5''$, а молекулярное движеніе, вызванное въ нервѣ этимъ ударомъ, продолжается, какъ сейчасъ увидимъ, 2″, 3″ и болѣе. Относящіяся сюда явленія, къ описанію которыхъ мы теперь приступаемъ, извѣстны въ наукѣ подъ именемъ «послѣдовательныхъ измѣненій нерва за прекращеніемъ непосредственнаго эффекта его раздраженія». Для краткости, мы будемъ называть эти измѣненія «слѣдами раздраженія».

Чтобы выяснить вамъ разомъ, въ чемъ здѣсь дѣло, напомню общеизвѣстные факты изъ физіологіи зрительнаго нерва. Свѣтовое впечатлѣніе на сѣтчатую оболочку нашего глаза, какъ бы коротко оно ни было, но если достаточно сильно, не исчезаетъ вмѣстѣ съ прекращеніемъ свѣтоваго вліянія, а оставляетъ въ нашемъ глазу слѣдъ, длящійся болѣе или менѣе, смотря по силѣ свѣтоваго впечатлѣнія. Этимъ объясняютъ извѣстный вамъ, конечно, фактъ, что свѣтящееся тѣло, быстро двигающееся передъ глазомъ, оставляетъ въ немъ ощущеніе непрерывной свѣтлой линіи. Еще же яснѣе выражается послѣдующее измѣненіе зрительнаго нерва тѣмъ, что если послѣ быстраго, но достаточно сильнаго свѣтоваго впечатлѣнія, закрыть глаза, то на темномъ полѣ зрѣнія видится еще болѣе или менѣе долго образъ свѣтящагося тѣла, подѣйствовавшаго на глазъ. Такъ, если вечеромъ въ комнатѣ, гдѣ горитъ свѣчка, закрыть на одну или двѣ минуты глаза, чтобы дать успокоиться зрительному нерву отъ предшествовавшихъ свѣтовыхъ впечатлѣній, потомъ, открывши ихъ, посмотрѣть не болѣе 1″ на свѣчку и снова закрыть, то на полѣ зрѣнія долго еще рисуется образъ пламени во всѣхъ отношеніяхъ сходный съ образомъ при дѣйствительномъ дѣйствіи горящей свѣчи на сѣтчатую оболочку. Этотъ свѣтовой слѣдъ называется положительнымъ, подобно тому, какъ у фотографовъ принято называть свѣтовой отпечатокъ предмета, соотвѣтствующій послѣднему во всѣхъ своихъ освѣщенныхъ и отѣненныхъ частяхъ, положительнымъ, въ отличіе отъ отрицательнаго образа, гдѣ темныя части отпечатка соотвѣтствуютъ свѣтлымъ предмета, и наоборотъ.

Посмотримъ же, не существуетъ ли и въ движущемъ нервѣ чего-нибудь подобнаго тому, что сказано относительно зрительнаго. Въ нашемъ глазу, при быстромъ движеніи передъ нимъ свѣтящагося тѣла, рисуется непрерывная свѣтлая линія, потому что частныя свѣтовыя впечатлѣнія, производимыя этимъ тѣломъ въ короткіе промежутки времени его движенія, суммируются между собою. Если въ движущемъ нервѣ молекулярныя движенія отъ электрическаго удара не прекращаются вмѣстѣ съ мышечнымъ сокращеніемъ, то и здѣсь должно происходить суммированіе частныхъ эффектовъ электрическихъ ударовъ, слѣдующихъ другъ за другомъ въ короткіе промежутки времени, и суммированіе это должно выразиться тѣмъ, что съ каждымъ послѣдующимъ ударомъ

величина мышечнаго сокращенія должна возростать. Такъ и есть на самомъ дѣлѣ, какъ показали опыты Вундта. Онъ клалъ движущій нервъ на электроды, не дающіе поляризаціи, связывалъ мышцу съ міографомъ и сообщалъ нерву то рядъ нисходящихъ, то рядъ восходящихъ индукціонныхъ ударовъ, отстоящихъ другъ отъ друга на нѣсколько секундъ, такъ что каждый новый ударъ нерву слѣдовалъ у него уже по окончаніи предшествовавшаго мышечнаго сокращенія. При обоихъ направленіяхъ ударовъ онъ нашелъ, что эффекты ихъ сначала суммируются, т. е. мышечное сокращеніе съ каждымъ новымъ ударомъ возростаетъ, потомъ наступаетъ періодъ времени, когда новые удары въ томъ же направленіи уже не увеличиваютъ, а постоянно уменьшаютъ величину мышечнаго сокращенія, такъ что послѣднее наконецъ совершенно исчезаетъ. Если же въ періодъ наростанія величины мышечнаго сокращенія отъ повторныхъ ударовъ въ одномъ и томъ же направленіи дѣйствовать на нервъ рядомъ мѣняющихся по направленію электрическихъ ударовъ, то при слабой силѣ тока мышечнаго сокращенія вовсе не бываетъ. Это значитъ, что каждый слабый электрическій ударъ извѣстнаго направленія оставляетъ по себѣ въ нервѣ такое измѣненіе, при которомъ онъ можетъ быть возбужденъ непосредственно только ударомъ въ томъ же направленіи. Однако эта нечувствительность нерва къ ударамъ противоположныхъ направленій продолжается недолго, особенно если онъ раздражался въ началѣ восходящими токами. Какъ бы то ни было, а изъ опытовъ Вундта слѣдуетъ, что и въ движущемъ нервѣ раздраженіе оставляетъ положительнный слѣдъ, другими словами: движеніе, вызванное въ нервѣ электрическимъ ударомъ, остается въ сущности такимъ же нѣсколько времени спустя по окончаніи непосредственнаго эффекта раздраженія. Результаты Вундта можно подтвердить чрезвычайно просто и наглядно, если есть подъ руками индукціонный аппаратъ, которымъ можно производить по произволу рядъ индукціонныхъ ударовъ въ одномъ и томъ же или въ постоянно мѣняющихся направленіяхъ. Стоитъ только найдти ту силу отдѣльныхъ ударовъ, при которой едва начинаетъ появляться мышечное сокращеніе, и потомъ дѣйствовать на нервъ рядомъ этихъ самыхъ ударовъ. Если они однородны по направленію, то сокращеніе должно усиливаться, въ противномъ случаѣ, оно исчезаетъ. Но результаты Вундта можно показать и

на аппаратѣ дю-Буа-Реймона, не смотря на то, что въ немъ можно получать лишь рядъ ударовъ, постоянно мѣняющихъ свое направленіе [1]). Дѣло здѣсь въ томъ, что при слабыхъ индукціонныхъ ударахъ, дѣйствующихъ на нервъ, физіологически дѣятельны, т. е. производятъ сокращеніе, только тѣ изъ нихъ, которые соотвѣтствуютъ размыканію первой спирали, чтó зависитъ, можетъ быть, отъ меньшей продолжительности размыкательныхъ ударовъ въ сравненіи съ замыкательными; другими словами — отъ быстрѣйшихъ колебаній силы тока въ первомъ случаѣ. Какъ бы то ни было, но послѣ сказаннаго ясно, что, пуская въ ходъ молотокъ Вагнера при далекомъ отстояніи второй спирали отъ первой въ индукціонномъ аппаратѣ дю-Буа, нервъ возбуждается лишь токами, соотвѣтствующими размыканіямъ первой спирали, т. е. ударами, имѣющими одно и то же направленіе, хотя между каждымъ изъ нихъ и существуетъ токъ противоположнаго направленія, соотвѣтствующій замыканію 1-й спирали. Ясно, что эффекты размыкательныхъ ударовъ должны суммироваться въ нервѣ и мышечное сокращеніе должно возрастать въ сравненіи съ тѣми отдѣльными мышечными сокращеніями, которыя получаются при дѣйствіи на нервъ отдѣльными размыкательными ударами. Это всегда такъ и бываетъ; но замѣчательно, что результатъ суммированія отдѣльныхъ ударовъ высказывается рѣзко лишь въ томъ случаѣ, если электроды лежатъ ближе къ мышцѣ, чѣмъ къ центральному концу нерва. Другую сторону опытовъ Вундта, т. е. уменьшеніе величины мышечнаго сокращенія отъ дѣйствія на нервъ токами перемѣнныхъ направленій, можно показать наглядно при непосредственномъ раздраженіи мышцы электрическими ударами. Здѣсь уже нужны болѣе сильные токи, чѣмъ въ разсмотрѣнномъ нами случаѣ (мыш-

---

[1]) Въ этомъ аппаратѣ токъ первой спирали прерывается извѣстнымъ изъ учебниковъ физики молоткомъ Вагнера. Когда послѣдній въ дѣйствіи, то цѣпь первой спирали попеременно замыкается и размыкается, слѣдовательно во второй являются токи противоположныхъ направленій. Когда хотятъ дѣйствовать не рядомъ, а отдѣльными индукціонными ударами, получаемыми при замыканіи и размыканіи первой спирали, то молотокъ приводится въ тѣсное соприкосновеніе съ находящимися подъ нимъ столбиками мягкаго желѣза посредствомъ винта, опирающагося на средину рукоятки молоточка, а проволока, идущая къ концамъ первой спирали отъ электродвигателя, въ какомъ-нибудь мѣстѣ прерывается и концы ея погружаются въ чашечку со ртутью. Выниманіе одного конца проволоки изъ ртути производитъ размыканіе тока первой спирали, опусканіе же его — замыканіе.

ца менѣе раздражительна, чѣмъ нервъ); слѣдовательно вліяніе замыкательныхъ ударовъ становится уже ощутительнымъ, когда играетъ молотокъ, хотя мышца при той же силѣ тока и не отвѣчаетъ сокращеніемъ на отдѣльныя замыканія первой спирали. Въ самомъ дѣлѣ, если поставить вторую спираль такъ, чтобы при отдѣльныхъ размыкательныхъ ударахъ мышца едва начала сокращаться, и потомъ пустить молотокъ, то сокращеніе исчезаетъ: нужно вторую спираль приблизить къ первой, чтобы оно явилось.

И такъ молекулярное движеніе, вызванное какъ въ нервѣ, такъ и въ мышцѣ электрическимъ ударомъ, продолжается нѣсколько времени и послѣ того, какъ мышечное сокращеніе прекратилось, притомъ оно во все это время по сущности остается одинаковымъ, по крайней мѣрѣ до тѣхъ поръ, пока величина мышечнаго сокращенія не перестаетъ наростать подъ вліяніемъ повторныхъ ударовъ одного и того же направленія. Съ наступленіемъ же этого періода послѣдовательное движеніе въ нервѣ начинаетъ пріобрѣтать противоположный характеръ — нервъ становится чувствительнымъ и къ ударамъ противоположнаго направленія, — слѣдъ раздраженія становится отрицательнымъ. Съ послѣдней модификаціей нерва мы встрѣтимся еще впослѣдствіи и тамъ будемъ говорить о ней подробнѣе, теперь же обратимся къ практическому приложенію найденныхъ нами фактовъ.

XV.

Столбнякъ отъ перерывистаго тока на нервъ и мышцу. — Перерывистое раздраженіе чувствующихъ нервовъ. — Вторичное мышечное сокращеніе съ мышцы и нерва.

М. Г.

Суммированіе эффектовъ отдѣльныхъ электрическихъ ударовъ въ нервѣ и мышцѣ даетъ въ руки физіологу могучее средство для изученія нервной и мышечной дѣятельности вообще. Можно сказать положительно, что ему обязана современная частная физіологія нервной системы самыми блестящими своими открытіями. При помощи перерывистаго тока опредѣлено многообразное вліяніе бродящаго нерва на связанные съ нимъ органы, открыто вліяніе нервовъ на кровоносные сосуды, на отдѣленіе слюны и проч. Для

насъ же перерывистый токъ важенъ тѣмъ, что онъ даетъ возможность приводить нервъ и мышцу въ дѣятельное состояніе на болѣе или менѣе долгое время, такъ что является возможность изучать ихъ и во время дѣятельности. Въ самомъ дѣлѣ, если электрическіе удары, будутъ ли они однородны по направленію, или нѣтъ, слѣдуютъ по времени другъ за другомъ такъ быстро, что мышечное сокращеніе, производимое каждымъ изъ нихъ, не успѣваетъ прекратиться прежде, чѣмъ слѣдуетъ новый ударъ, то сокращеніе принимаетъ характеръ постояннаго — является столбнякъ. Эффектъ этотъ, при прочихъ равныхъ условіяхъ, тѣмъ сильнѣе, чѣмъ удары чаще и чѣмъ сильнѣе токъ; послѣдній вліяетъ, разумѣется, лишь до извѣстной степени, т. е. когда мышечное сокращеніе достигло maximum, то усиленіе тока не имѣетъ уже вліянія на силу столбняка. Если измѣнять разомъ и частоту ударовъ и силу ихъ, то мышечному сокращенію можно придать съ виду вполнѣ характеръ тѣхъ постепенныхъ движеній, которыя мы замѣчаемъ при сокращеніяхъ, производимыхъ волею. И потому есть основаніе думать, что актъ возбужденія нерва при движеніяхъ воли совершенно тождественъ по сущности съ тѣмъ, который производится въ нервѣ дѣйствіемъ на него перерывистаго тока. На только что отрѣзанномъ здоровомъ предплечіи человѣка я раздражалъ перерывистымъ токомъ n. ulnaris и видѣлъ чрезвычайно постепенное сгибаніе пальцевъ. Въ пользу этого сходства говоритъ еще и то обстоятельство, что подъ вліяніемъ перерывистаго тока мышца скоро устаетъ и тогда сокращеніе изъ постояннаго дѣлается перерывистымъ: въ мышцѣ появляются по временамъ ослабленія, она начинаетъ дрожать. Произвольно сокращенная мышца, оставаясь долго въ этомъ состояніи, представляетъ тѣ же самыя явленія.

Мышечный столбнякъ происходитъ и въ томъ случаѣ, если вмѣсто электрическихъ ударовъ дѣйствовать на нервъ рядомъ механическихъ, на столько слабыхъ, чтобы онъ не скоро убивался ими. Такой же эффектъ производитъ отравленіе стрихниномъ и многіе химическіе раздражители, приложенные непосредственно къ нерву; отъ дѣйствія послѣднихъ столбнякъ не имѣетъ однако столь постояннаго характера, какъ отъ первыхъ трехъ. Какъ бы то ни было, а изъ разсмотрѣнныхъ условій мышечнаго столбняка ясно слѣдуетъ, что въ основѣ продолжительныхъ волевыхъ мышечныхъ

движеній лежитъ непрерывный рядъ молекулярныхъ колебаній въ нервѣ, длящійся по крайней мѣрѣ столько же времени, сколько продолжается мышечное сокращеніе.

Для чувствующихъ нервовъ перерывистый токъ представляетъ столь же могучаго возбудителя, какъ и для движущихъ. И здѣсь замѣчается суммированіе каждаго отдѣльнаго удара не только по времени, но и по величинѣ. Въ самомъ дѣлѣ перерывистый токъ производитъ непрерывное чувство боли, и ощущеніе, вызванное имъ, значительно сильнѣе того, которое производитъ постоянный токъ той же силы. Относительно зрительнаго нерва можно сказать то же самое. Но для послѣдняго суммированіе частныхъ впечатлѣній по времени и величинѣ можно доказать и перерывистымъ свѣтовымъ раздраженіемъ. Если на темномъ большомъ кругу *A* (фиг. 37-я) сдѣлать маленькій бѣлый *B* и вертѣть первый быстро передъ глазомъ, устремленнымъ на *B*, то свѣтовое впечатлѣніе, производимое послѣднимъ на сѣтчатую оболочку, повторяется съ каждымъ новымъ оборотомъ. При этомъ ощущеніе является въ формѣ сѣроватаго кольца. Если въ окружности послѣдняго сдѣлать на темномъ кругу *A* новый кружекъ *D* и вертѣть *A* съ прежнею скоростью, то свѣтовое впечатлѣніе на глазъ повторяется вдвое скорѣе, и тогда кольцо, рисующееся на сѣтчатой оболочкѣ, становится свѣтлѣе, чѣмъ прежде.

Вотъ всѣ факты, относящіеся до суммированія эффектовъ отдѣльныхъ раздражающихъ ударовъ въ нервѣ. Присматриваясь къ нимъ, нетрудно замѣтить, что они непосредственно вытекаютъ изъ перваго условія перехода мышцы и нерва отъ покоя къ дѣятельности, гдѣ было показано, что органы эти особенно легко возбуждаются колебаніями силы дѣйствующаго на нихъ раздражителя [1]). Поэтому разобранный нами отдѣлъ явленій не можетъ

[1]) При разсматриваніи перваго условія возбужденія чувствующихъ нервовъ были упомянуты лишь опыты съ раздраженіемъ ихъ электрическимъ токомъ. Здѣсь я считаю нелишнимъ напомнить другіе, относящіеся сюда, общеизвѣстные факты. Термическое впечатлѣніе на чувствующіе нервы кожи отъ одного и того же нагрѣтаго тѣла тѣмъ рѣзче, чѣмъ сильнѣе была предъ этимъ охлаждена кожа. Одно и то же свѣтовое впечатлѣніе дѣйствуетъ на глазъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ менѣе свѣта падало предъ этимъ раздраженіемъ на сѣтчатую оболочку. Все это факты, указывающіе на то, что нервъ сильно возбуждается быстрыми и глубокими колебаніями степени раздраженія.

представить новыхъ выводовъ, которые могли бы бросить новый свѣтъ на одну изъ сторонъ нашего главнаго вопроса, т. е. на сущность акта нервнаго и мышечнаго возбужденія. Я позволилъ себѣ распространиться объ этихъ явленіяхъ потому, что они очень наглядно доказываютъ существованіе молекулярныхъ движеній въ мышцѣ и нервѣ, вслѣдъ за непосредственнымъ эффектомъ ихъ возбужденія, указывая притомъ на направленіе этихъ послѣдовательныхъ движеній: главное же, по причинѣ громадной важности, которую пріобрѣло въ физіологіи, и даже въ практической медицинѣ, дѣйствіе на нервы и мышцы перерывистымъ токомъ. А дѣйствіе это, какъ вы видѣли, непосредственно вытекаетъ изъ ученія о суммированіи эффектовъ отдѣльныхъ электрическихъ ударовъ въ нервѣ и мышцѣ.

Я только что сказалъ, что занимавшій насъ послѣдній отдѣлъ явленій далъ намъ ясный намекъ на существованіе молекулярныхъ движеній въ нервѣ и мышцѣ при дѣйствіи на нихъ электрическаго удара. Кромѣ того изъ такъ называемыхъ положительныхъ и отрицательныхъ слѣдовъ раздраженія вы видѣли, что движеніе это, переживая время раздраженія, продолжается, такъ сказать, или въ прежнемъ, или въ обратномъ направленіи. Наконецъ изъ измѣреній быстроты движенія возбужденія по нерву, сдѣланныхъ Гельмгольцомъ, вы узнали, что процессъ этотъ сравнительно съ движеніемъ свѣта или электричества происходитъ очень медленно. Изъ всего этого нельзя однако составить себѣ ни малѣйшаго понятія о сущности движенія, вызваннаго въ мышцѣ и нервѣ электрическимъ ударомъ, и объ его послѣдствіяхъ. Теперь именно настало время заняться этимъ вопросомъ. Уяснимъ же себѣ прежде всего самый вопросъ, и посмотримъ, какія у насъ средства для рѣшенія его.

Электрическій или всякій короткій раздражающій ударъ, сообщенный мышцѣ или ея нерву, вызываетъ въ нихъ молекулярное движеніе, выражающееся особенно рѣзко лишь до тѣхъ поръ, пока мышца укорачивается. Естественно думать, что и сила молекулярнаго движенія, вызваннаго ударомъ, ростетъ только до этого момента, а за тѣмъ быстро ослабѣваетъ. Отъ начала раздраженія нерва до конца мышечнаго укорачиванія проходитъ менѣе $^1/_2''$; слѣдовательно молекулярное движеніе въ мышцѣ и нервѣ отъ электрическаго удара можно представить себѣ какъ быстрое

колебаніе какой-нибудь силы. А мы знаемъ, что движущій нервъ въ связи съ своей мышцей представляетъ чрезвычайно чувствительный реактивъ на всякое быстрое колебаніе приложенной къ нему силы. Попробуемъ же этотъ реактивъ и здѣсь. Съ другой стороны естественно думать, что измѣненія, вызываемыя въ нервѣ электрическимъ ударомъ, суть электрической натуры, тѣмъ болѣе, что онъ дѣйствуетъ здѣсь, какъ вы уже знаете, на электродвигателей. Можно думать a priori, что подъ вліяніемъ электрическаго удара должны происходить быстрыя измѣненія въ электрическихъ свойствахъ мышцы и нерва, и для опредѣленія ихъ по силѣ и направленію мы имѣемъ, конечно, средство въ давно знакомомъ вамъ мультипликаторѣ. Инструментъ, какъ вы знаете, не отличается особенною чувствительностью къ быстрымъ колебаніямъ электрическаго тока; по крайней мѣрѣ въ этомъ отношеніи движущій аппаратъ лягушки значительно превосходитъ его (извѣстно каждому, что разрядъ лейденской банки, гдѣ движеніе, а слѣдовательно и колебаніе, тока до невѣроятности быстро, будучи пропущенъ чрезъ мультипликаторъ, оставляетъ стрѣлку въ покоѣ, а нервы возбуждаетъ чрезвычайно сильно). Тѣмъ не менѣе, ради строгости метода, мы должны употребить въ дѣло и мультипликаторъ.

И такъ, посмотримъ прежде посредствомъ движущаго аппарата лягушки, существуютъ ли, какъ сказано выше, быстрыя движенія въ нервѣ и мышцѣ при раздраженіи ихъ электрическимъ ударомъ и какого рода эти движенія.

Начнемъ съ мышцы. Кладу нервъ одного движущаго аппарата на электроды отъ гальванической батареи, которой цѣпь можетъ быть по произволу быстро замыкаема и размыкаема. На мышцу этого препарата кладу нервъ другаго въ различныхъ положеніяхъ (фиг. 38), сначала такъ, чтобы онъ касался только мясной части продольной поверхности мышцы, потомъ такъ, чтобы онъ касался вмѣстѣ съ тѣмъ и сухожилія. Замыкаю цѣпь. При первомъ положеніи нерва втораго аппарата на мышцѣ перваго вздрагиваетъ только мышца, которой нервъ непосредственно раздражается; при второмъ положеніи сокращаются обѣ. Видя эти два явленія рядомъ, кому не придетъ въ голову мысль, что при электрическомъ ударѣ по первому нерву покоющійся токъ его мышцы, идущій отъ продольной мясной поверхности къ сухожилію, претерпѣваетъ

быстрое колебаніе. Въ самомъ дѣлѣ, при первомъ положеніи нерва на мышцѣ онъ замыкаетъ собою точки мышечной поверхности, не дающія тока, оттого здѣсь и не можетъ быть колебанія его. Но если наша мысль справедлива, то сокращеніе втораго препарата должно происходить и въ томъ случаѣ, когда нервъ его лежитъ разомъ и на продольной поверхности мышцы, будетъ ли она естественная или искуственная, и на искуственномъ поперечномъ разрѣзѣ; напротивъ того сокращенія не должно быть, если нервъ касается только точекъ послѣдняго, или точекъ искуственной продольной поверхности, лежащихъ симметрично относительно экватора мышцы. Все это такъ и есть. Слѣдовательно сомнѣваться нечего: электрическій ударъ движущему нерву вызываетъ въ связанной съ нимъ мышцѣ молекулярное движеніе, выражающееся, сверхъ мышечнаго сокращенія, колебаніемъ ея токовъ. Интересно посмотрѣть, суммируются ли эти колебанія тока въ мышцѣ между собою при перерывистомъ раздраженіи нерва подобно тому, какъ суммируются при этомъ условіи для нашихъ глазъ отдѣльныя мышечныя сокращенія въ непрерывный столбнякъ. Если да, то при дѣйствіи на нервъ перваго аппарата перерывистымъ токомъ сокращеніе втораго должно происходить только въ началѣ и концѣ этого дѣйствія, въ промежуткѣ между ними не должно происходить отдѣльныхъ колебаній; если же нѣтъ, то мышца втораго препарата должно придти, какъ и первая, въ непрерывный столбнякъ. Попробуемъ. Вы видите — обѣ мышцы въ столбнякѣ. Это заставляетъ думать, что колебанія мышечнаго тока при перерывистомъ раздраженіи нерва имѣютъ перерывистый характеръ; слѣдовательно и самый мышечный столбнякъ не есть полное сліяніе отдѣльныхъ мышечныхъ сокращеній въ одно общее, а рядъ отдѣльныхъ вздрагиваній, сливающихся между собою лишь для нашего тупаго глаза. Сумма разсмотрѣнныхъ явленій извѣстна въ наукѣ подъ именемъ вторичныхъ сокращеній съ мышцы. Они открыты Маттеуччи, но значеніе ихъ установлено трудами дю-Буа [1]).

---

[1]) Есть очень красивая форма опыта вторичнаго сокращенія съ мышцы: живому кролику вскрываютъ грудную полость, обнажаютъ сердце отъ сумки и кладутъ на сердечный желудочекъ нервъ движущаго аппарата лягушки такимъ образомъ, чтобы онъ касался разомъ верхушки и передней стѣнки. Мышца лягушечьяго аппарата при каждомъ систолѣ желудочка вздрагиваетъ.

Теперь посмотримъ, не удастся ли получить того же съ нерва. Одинъ конецъ сѣдалищнаго нерва лягушки, отдѣленнаго отъ тѣла, кладу на электроды гальванической батареи, другой привожу въ соприкосновеніе съ нервомъ движущаго аппарата такъ, чтобы послѣдній касался разомъ и поперечнаго разрѣза, и точки продольной поверхности перваго нерва (фиг. 39); или такъ, чтобы нервы касались другъ друга лишь своими продольными поверхностями. Если мѣсто приложенія электродовъ къ первому нерву находится близко къ мѣсту соприкасанія его со вторымъ, то при обоихъ положеніяхъ послѣдняго получается вторичное и на видъ одинаково сильное сокращеніе Если же электроды лежатъ далеко отъ мѣста соприкасанія нервовъ, то ни въ томъ, ни въ другомъ случаѣ сокращенія нѣтъ. Молекулярное движеніе въ нервѣ, вызванное электрическимъ ударомъ, отличается, какъ видите уже изъ этихъ двухъ опытовъ, отъ того, которое было замѣчено въ мышцѣ. Тамъ отстояніе электродовъ отъ мышцы не имѣло вліянія на явленія; притомъ вторичное сокращеніе было *особенно сильно только* въ случаѣ, когда нервъ втораго движущаго аппарата замыкалъ собою точки мышцы, дающія при своей комбинаціи сильный токъ. Здѣсь же и сильная (фиг. 39) и слабая (фиг. 40) комбинаціи не вліяютъ на величину вторичнаго сокращенія: — оно въ обоихъ случаяхъ остается одинаковымъ. Кромѣ того, при вторичномъ сокращеніи съ мышцы незамѣтно было вліяніе направленія раздражающаго тока на оси нерва: каждый разъ, какъ вздрагивала первая мышца, сокращалась и вторая. Здѣсь же вліяніе это ясно.

Вотъ форма опыта, очень удобная для демонстраціи этого вліянія (фиг. 41). Нервъ одного движущаго аппарата кладется на электроды батареи, состоящей по крайней мѣрѣ изъ двухъ большихъ элементовъ Даніэля; рядомъ съ нимъ, какъ можно ближе къ электродамъ, нервъ другаго движущаго аппарата *b*. Если токъ относительно оси перваго нерва имѣетъ восходящее направленіе, то мышца *a* вздрагиваетъ при замыканіи тока значительно слабѣе, чѣмъ при размыканіи (если взять токъ сильнѣе, то замыкательнаго сокращенія въ *a* вовсе не бываетъ), *b* же, наоборотъ, при размыканіи тока иногда даже вовсе не вздрагиваетъ. Если токъ по нерву движущаго аппарата *a* будетъ нисходящій, то мышца его сокращается сильнѣе при замыканіи, чѣмъ при размыканіи, *b* же снова наоборотъ. Противоположность явленій, представляемыхъ не-

посредственно и вторично раздражаемымъ нервомъ такъ рѣзка, что невольно брасается въ глаза. Какъ будто оба эти нерва раздражались въ одно и то же время токами противоположныхъ направленій, т. е. одинъ восходящимъ, другой нисходящимъ, или наоборотъ. Объясненіе этихъ явленій впереди; но и теперь уже можно сказать съ достовѣрностью слѣдуюцее: электрическій ударъ вызываетъ въ нервѣ быстрое молекулярное движеніе, отличное отъ того, которое сопровождаетъ въ мышцѣ актъ ея сокращенія и которое заключается, какъ мы видѣли, въ колебаніи силы мышечныхъ токовъ. Вторичный столбнякъ съ нерва, раздражаемаго перерывистымъ токомъ, тоже получается. Но и здѣсь условія не тѣ, какъ при вторичномъ столбнякѣ съ мышцы: опять вторично возбуждаемый нервъ долженъ лежать очень близко къ электродамъ, притомъ въ какомъ угодно положеніи относительно непосредственно раздражаемаго нерва, лишь бы они касались между собою въ нѣсколькихъ точкахъ. Какъ бы то ни было, а вторичный столбнякъ съ нерва все-таки указываетъ, что движенія, вызываемыя въ нервѣ перерывистымъ токомъ, имѣютъ перерывистый характеръ.

Зависимость удачи всѣхъ этихъ опытовъ отъ близости мѣста соприкасанія нервовъ къ мѣсту приложенія электродовъ можетъ легко подать поводъ думать, что при раздраженіи перваго нерва замыканіемъ и размыканіемъ гальваническаго тока послѣдній вѣтвится отъ электродовъ въ стороны и какая-нибудь вѣтвь его заползаетъ, такъ сказать, и на вторично возбуждаемый нервъ. Въ такомъ случаѣ оба нерва раздражались бы электрическимъ токомъ непосредственно. Опровергнуть такое предположеніе однако очень легко: стоитъ только перевязать первый нервъ между мѣстомъ приложенія къ нему электродовъ и ближайшей точкой соприкасанія втораго нерва, тогда вторичнаго сокращенія нѣтъ (потому что возбужденіе нерва ниже лигатуры невозможно), а оно должно было бы быть, если бы было обязано своимъ происхожденіемъ вѣтвленію тока, потому что лигатура не мѣшала бы послѣднему. При вторичномъ столбнякѣ первый нервъ раздражается индукціонными токами, и потому здѣсь близость втораго нерва къ электродамъ можетъ подать поводъ къ мысли, что вторичный столбнякъ обязанъ своимъ происхожденіемъ такъ называемымъ однополюснымъ сокращеніямъ. Убѣдиться въ томъ, что и это несправедливо, очень

легко. Стоитъ только принять всевозможныя предосторожности противъ однополюсныхъ сокращенiй, т. е тщательно изолировать отъ земли какъ движущiе аппараты, такъ и весь кругъ вторичной спирали. Всего лучше изолировать мышцы съ нервами и индукцiонный аппаратъ съ приводами его вторичной спирали стекломъ. Тогда однополюсныя сокращенiя невозможны, а вторичный столбнякъ все-таки есть.

Теперь обращаю ваше вниманiе на одно обстоятельство, о которомъ еще не было рѣчи. Въ формахъ опыта вторичнаго сокращенiя съ нерва, представленныхъ на фиг. 39 и 40, не было упомянуто, который изъ концовъ непосредственно раздражаемаго нерва *a*, центральный или периферическiй, кладется на электроды, и который приводится въ соприкосновенiе съ другимъ нервомъ. Теперь скажу, что для удачи опыта это все равно. Обстоятельство это не лишено значенiя. Если бы сѣдалищный нервъ, который употребляется нами при опытахъ, состоялъ изъ однихъ движущихъ волоконъ, то оно указывало бы или на различiе между молекулярнымъ движенiемъ въ нервѣ, лежащимъ въ основѣ его возбужденiя, и тѣмъ, которое производитъ въ сосѣднемъ движущемъ аппаратѣ вторичное сокращенiе; или, предполагая тождество обоихъ актовъ движенiя, обстоятельство это показывало бы, что возбужденiе можетъ идти по движущимъ нервнымъ волокнамъ не только отъ центра къ периферiи, какъ это принимаетъ физiологiя, но и наоборотъ. Въ самомъ дѣлѣ, когда нервъ *a* лежитъ на электродахъ центральными концами, то молекулярное движенiе по длинѣ его отъ электрическаго удара, производящее вторичное сокращенiе, совпадаетъ по направленiю съ обыкновеннымъ ходомъ возбужденiя по движущему волокну; если же нервъ *a* лежитъ на электродахъ противоположнымъ концомъ, то молекулярное движенiе существуетъ, какъ показываетъ присутствiе вторичнаго сокращенiя, но оно идетъ по первому нерву уже отъ периферическаго конца къ центральному, слѣдовательно обратно къ нормальному ходу возбужденiя по движущимъ волокнамъ. Но въ нашихъ опытахъ нервъ *a* смѣшанный, и потому можно еще думать, что при положенiи его на электродахъ центральнымъ концомъ электрическiй ударъ возбуждаетъ только движущiя волокна, а при обратномъ положенiи только чувствующiя, и что вторичное сокращенiе въ обоихъ случаяхъ есть лишь слѣдствiе возбужденiя одного изъ

этихъ двухъ родовъ волоконъ. Всякій согласится, конечно, что всѣ эти вопросы очень важны, слѣдовательно стоитъ похлопотать объ ихъ рѣшеніи. Къ счастію, это очень нетрудно. Отравляя животное кураре или атропиномъ, мы имѣемъ средство парализовать въ сѣдалищномъ нервѣ лягушки только движущія волокна,—нервъ перестаетъ быть физіологически смѣшаннымъ, дѣлается чисто чувствующимъ. Въ такомъ нервѣ при раздраженіи его центральнаго конца движенія возбужденія по движущимъ волокнамъ быть не можетъ, потому что они парализованы, по чувствующимъ оно, повидимому, тоже невозможно, потому что возбужденіе должно двигаться отъ центра къ периферіи. А между тѣмъ, если сѣдалищный нервъ отравленнаго животнаго положить центральнымъ концомъ на электроды и привести съ нимъ въ соприкосновеніе нервъ движущаго аппарата, взятаго отъ неотравленнаго животнаго, то мышца сокращается вторично при электрическихъ ударахъ первому нерву. Если опытъ дѣлать въ формѣ изображеннаго на фиг. 41, гдѣ непосредственно раздражаемый движущій аппаратъ отравленъ, а другой нѣтъ, то первый при электрическихъ ударахъ можетъ и не вздрагивать, а второй сокращается. Эти опыты ясно указываютъ, что молекулярное движеніе въ нервѣ, вызывающее вторичное сокращеніе, не тождественно съ тѣмъ, которое лежитъ въ основѣ акта нервнаго возбужденія; слѣдовательно нѣтъ никакой причины противиться мысли, что перваго рода движеніе можетъ происходить въ обоихъ видахъ нервныхъ волоконъ въ обоихъ направленіяхъ, т. е. отъ центра къ периферіи, и наоборотъ. Впрочемъ различіе между обоими родами движенія слѣдуетъ уже и изъ того, что производящее вторичное сокращеніе сильно только близъ мѣста раздраженія нерва (вторичное сокращеніе удается лишь въ томъ случаѣ, если второй нервъ касается съ первымъ близко къ электродамъ), а съ удаленіемъ отъ послѣдняго быстро ослабѣваетъ, тогда какъ другое, какъ вы знаете изъ третьяго условія возбужденія нерва электрическимъ токомъ, напротивъ, наростаетъ съ удаленіемъ отъ мѣста раздраженія. И такъ молекулярное движеніе въ нервѣ, производящее вторичное сокращеніе, есть лишь спутникъ того, которое лежитъ въ основѣ акта нервнаго возбужденія.

Въ заключеніе этой лекціи покажу вамъ опытъ вторичнаго сокращенія съ нерва, очень странный по формѣ и могущій на первый взглядъ дать поводъ думать, что закона изолированнаго дви-

женія возбужденія по нервному волокну не существуетъ. Явленіе это названо дю-Буа парадоксальнымъ сокращеніемъ. Сѣдалищный нервъ лягушки, не доходя до подколѣнной впадины, дѣлится на двѣ главныя вѣтви, изъ которыхъ наружная (если смотрѣть на животное со спины) разсыпается во всѣхъ мышцахъ голени, за исключеніемъ икряной. Если сѣдалищный нервъ перерѣзать гдѣ-нибудь на бедрѣ и раздражать электрическимъ токомъ упомянутую наружную вѣтвь его (смотри шематическую фиг. 42), то вмѣстѣ съ *a* сокращается и *b*, т. е. сокращается и икряная мышца. Объяснять происхожденіе этого явленія послѣ всего сказаннаго, кажется, нечего. Равнымъ образомъ и доказывать, что оно не опровергаетъ закона изолированнаго движенія возбужденія по нервному волокну не для чего съ тѣхъ поръ, какъ вы убѣдились, что движеніе возбужденія по нерву и то, которое вызываетъ вторичное сокращеніе, суть двѣ вещи разныя.

XVI.

Измѣненіе раздражительности въ нервахъ при отдѣленіи ихъ отъ тѣла. — Измѣненіе электродвигательныхъ свойствъ нервовъ и мышцъ подъ вліяніемъ электрическаго удара.

М. Г.

Теперь слѣдовало бы говорить объ измѣненіи электродинамическихъ свойствъ нервовъ и мышцъ подъ вліяніемъ электрическаго тока, приложеннаго къ нимъ въ различной формѣ; но прежде, чѣмъ я приступлю къ этому отдѣлу нашего ученія, считаю необходимымъ показать, на сколько вліяетъ отдѣленіе мышцъ и нервовъ отъ тѣла на всѣ разсмотрѣнныя нами до сихъ поръ явленія, представляемыя этими органами подъ вліяніемъ электрическаго раздраженія. Безъ этого небольшаго отступленія вопросъ, не суть ли разсмотрѣнныя нами явленія трупныя, остался бы долго еще не рѣшеннымъ, а чрезъ это страдало бы, конечно, довѣріе ваше къ физіологическому значенію не только уже изложенныхъ фактовъ, но и тѣхъ, которые предстоитъ разбирать. Къ счастію, отдѣленіе нервовъ и мышцъ отъ тѣла производитъ очень мало измѣненій въ явленіяхъ ихъ дѣятельности подъ вліяніемъ

раздраженія: до сихъ поръ найдено только одно, и оно заключается въ томъ, что нервъ при этомъ условіи становится раздражительнѣе. Показать это на опытѣ очень легко. Лягушка укрѣпляется на доскѣ спиною кверху, стволъ сѣдалищнаго нерва обнажается и подъ него кладутся на стеклянную или каучуковую пластинку (чтобы токъ проходилъ только черезъ нервъ) проволочные электроды отъ вторичной спирали индукціоннаго аппарата. Нервъ раздражается отдѣльными ударами и замѣчается наибольшее отстояніе вторичной спирали отъ первичной, при которомъ начинаетъ показываться мышечное сокращеніе. Если перерѣзать тогда нервъ выше мѣста проложенія электродовъ, то новые удары даютъ уже значительно сильнѣйшее сокращеніе. Это усиленіе раздражительности продолжается среднимъ числомъ минутъ 10 (если притокъ крови къ нерву не существуетъ); потомъ нервъ начинаетъ умирать, что выражается постепеннымъ ослабленіемъ того же свойства до окончательнаго исчезанія. Послѣдній процессъ идетъ въ движущихъ волокнахъ нерва отъ центральнаго конца къ периферическому, такъ что когда раздраженіе около перваго уже недѣятельно, ударъ нерву близъ мышцы вызываетъ еще въ послѣдней сокращеніе. Кромѣ того умирающій нервъ отличается отъ нормальнаго еще по отношенію возбуждаемости восходящимъ и нисходящимъ токами. Для нормальнаго нерва вы знаете это отношеніе изъ таблицы Пфлюгера, приведенной въ XI-й лекціи. Для умирающаго же подобныя таблицы были составлены уже Риттеромъ и Нобили. Я привожу послѣднюю. Нервъ раздражается токомъ средней силы.

		нисход. токъ	восход. токъ
1-й періодъ	замыканіе	сокращ.	сокращ.
	размыканіе	сокращ.	сокращ.
2-й періодъ	замыканіе	сильн. сокращ.	покой
	размыканіе	слаб. сокращ.	сильн. сокращ.
3-й періодъ	замыканіе	сильн. сокращ.	покой
	размыканіе	покой	сильн. сокращ.
4-й періодъ	замыканіе	сокращ.	покой
	размыканіе	покой	покой.

Первый періодъ соотвѣтствуетъ, какъ видите, явленіямъ, замѣченнымъ Пфлюгеромъ; значитъ, въ этотъ періодъ нервъ еще норманенъ. Умираніе его начинается со втораго періода. Когда будетъ извѣстно вліяніе постояннаго тока на нервную раздражительность, то мы коснемся и этого ряда явленій; теперь же снова обратимся къ замѣченному нами усиленію раздражительности нерва при отдѣленіи его отъ тѣла. Въ настоящее время существуютъ лишь косвенныя попытки объяснить это явленіе; прямыхъ, строгихъ опытовъ, которые рѣшили бы дѣло, еще нѣтъ. Гарлессъ, напримѣръ, замѣтилъ, что какъ высоко, т. е. какъ близко къ нервному центру ни перерѣзывался бы стволъ нерва, раздражительность послѣдняго возрастаетъ; такой же эффектъ имѣетъ, по его наблюденіямъ, и перерѣзка переднихъ корешковъ спиннаго мозга, образующихъ данный нервъ. Если же, сохранивъ послѣдніе, перерѣзать только соотвѣтствующіе задніе корни, то получается будто бы уменьшеніе величины мышечнаго сокращенія. На основаніи этихъ наблюденій, въ подмогу которымъ приводится извѣстный въ патологіи фактъ, что при параличѣ чувствующихъ нервовъ конечности ослабляется и движеніе послѣдней, Гарлессъ думаетъ, что изъ спиннаго мозга по движущимъ волокнамъ нерва существуетъ на связанныя съ послѣднимъ мышцы вліяніе, подобное дѣйствію бродящаго нерва на сердце, т. е. умѣряющее движеніе; вліяніе же чувствующихъ волоконъ, идя путемъ рефлекса, есть обратное, т. е. усиливающее движеніе. Съ точки зрѣнія Гарлесса выходило бы, слѣдовательно, что нервъ при отдѣленіи его отъ тѣла, или опредѣленнѣе — отъ нервнаго центра, освобождается изъ-подъ вліянія, умѣряющаго движеніе, оттого и дѣлается раздражительнѣе. Опыты Гарлесса однако никѣмъ еще не провѣрены (когда мнѣ случалось дѣлать эти опыты на лекціяхъ, то я всегда получалъ противорѣчивые результаты) и заключенія изъ нихъ такъ смѣлы (чтобы не сказать болѣе), что не могутъ быть приняты за объясненія усиленія раздражительности нерва при его отдѣленіи отъ тѣла. Другое объясненіе того же самаго явленія принадлежитъ Шиффу; оно на взглядъ правдоподобнѣе: при раздраженіи нерва, не отдѣленнаго отъ тѣла, молекулярное движеніе въ немъ распространяется отъ мѣста раздраженія въ обѣ стороны, т. е. къ периферіи и центру; перерѣзка нерва значительно укорачиваетъ часть послѣдняго пути, слѣдовательно уменьшаетъ вообще число матеріальныхъ ча-

стичекъ, которымъ должна передаться живая сила возбужденія; отъ этого въ мѣстахъ, гдѣ движеніе возбужденія осталось, оно должно стать сильнѣе. Есть однако опыты еще не совсѣмъ конченные, и потому необнародованные, которые доказываютъ, что предположеніе Шиффа несправедливо. На основаніи этихъ опытовъ можно думать, что усиленіе раздражительности нерва при отдѣленіи его отъ тѣла зависитъ отъ тѣхъ молекулярныхъ движеній въ периферическомъ отрѣзкѣ этого органа, которыя оставляетъ по себѣ актъ его перерѣзыванія.

Другихъ измѣненій при отдѣленіи мышцъ и нервовъ отъ тѣла, какъ уже было сказано, не найдено [1]). Можно сказать, напротивъ, что чѣмъ свѣжѣе нервъ и мышца, т. е. чѣмъ они нормальнѣе, тѣмъ рѣзче высказываются всѣ разсмотрѣнныя нами до сихъ поръ явленія, представляемыя этими органами при раздраженіи ихъ электрическимъ токомъ.

Обезпечивъ такимъ образомъ физіологическое значеніе за собраннымъ нами матеріаломъ, можно уже съ чистою совѣстью приступить къ изложенію вліянія электрическаго тока на электродинамическія свойства нервовъ и мышцъ. Надѣюсь, вы помните, что и въ предстоящемъ изысканіи насъ будетъ руководить одна общая мысль — разъяснить по возможности вопросъ о сущности нервнаго возбужденія. Начнемъ же съ вліянія электрическихъ ударовъ, по возможности короткихъ, слѣдовательно индукціонныхъ. Планъ опытовъ очень простъ. Если изучаются явленія, представляемыя однимъ нервомъ, то вырѣзывается у лягушки сѣдалищный нервъ, по возможности по всей его длинѣ; одинъ конецъ нерва кладется на подушки мультипликатора во всевозможныхъ дѣятельныхъ и недѣятельныхъ электродвигательныхъ комбинаціяхъ, другой на близлежащіе, приличной формы и занимающіе какъ можно меньше мѣста, металлическіе электроды отъ вторичной спирали индукціоннаго аппарата, близко придвинутой къ первичной. Послѣднее необходимо, чтобы имѣть увѣренность въ томъ, что дѣйствуютъ силой тока, дѣйствительно возбуждающей

---

[1]) Нѣкоторыя изъ явленій, разсмотрѣнныхъ нами на органахъ, отдѣленныхъ отъ тѣла, не были еще испытаны на тѣхъ же органахъ въ связи съ нервнымъ центромъ; напр. пфлюгеровскій мышечный столбнякъ и измѣреніе быстроты движенія возбужденія по нерву.

нервъ. Но такъ какъ при этомъ условіи и по близости электродовъ къ подушкамъ мультипликатора является возможность электрическихъ разрядовъ чрезъ нервъ (дающихъ однополюсное сокращеніе), которые проходили бы по проволокѣ мультипликатора, то для избѣжанія ихъ слѣдуетъ изолировать отъ земли весь кругъ вторичной спирали. Если же изслѣдуется мышца, раздражаемая чрезъ нервъ, то форма опытовъ остается та же, разумѣется, за исключеніемъ того, что здѣсь на подушки мультипликатора кладется мышца. Притомъ при этихъ опытахъ необходимо принять въ соображеніе, что при каждомъ электрическомъ ударѣ нерву мышца вздрагиваетъ, слѣдовательно ѣздитъ точками своей поверхности по подушкамъ мультипликатора. Послѣднее обстоятельство уже само по себѣ можетъ дать поводъ къ колебаніямъ магнитной стрѣлки, и потому необходимо устранить его. Для этого употребляютъ маленькій снарядъ, изображенный на фиг. 43-й вмѣстѣ съ вложенною въ него икряною мышцею лягушки, которую онъ такъ растягиваетъ, что мышца, при своемъ сокращеніи, не можетъ укорачиваться. Весь этотъ снарядецъ, за исключеніемъ раздвоенныхъ концовъ, между которыми вставляется мышца, металлическій; концы же эти для изолированія мышцы сдѣланы изъ слоновой кости. Дальнѣйшее устройство понятно изъ чертежа. Въ этомъ аппаратѣ можно укрѣпить только икряную мышцу лягушки. Она препаруется такъ, что нижній ея конецъ оставляется въ связи съ пяточною костью, а верхній съ нижней частью бедренной. Мышца приводится въ соприкосновеніе двумя точками своей продольной поверхности съ главными подушками мультипликатора посредствомъ вспомогательныхъ (см. фиг. 9-ю). Для опытовъ съ непосредственнымъ раздраженіемъ мышцы электрическимъ ударомъ икряная, по значительной толщинѣ, не годится, стало быть и вытягивающій мышцу снарядецъ не можетъ быть употребленъ въ дѣло, потому что чѣмъ толще мышца, тѣмъ болѣе условій для прохожденія по проволокѣ мультипликатора вѣтвей тока, распространяющагося отъ мѣста приложенія электродовъ въ стороны. Всего лучше брать для этихъ опытовъ m. sartorius лягушки, котораго одинъ конецъ кладется на концы мультипликатора, другой на электроды.

И такъ, дѣйствуя описаннымъ образомъ на нервъ и мышцу индукціонными ударами, замыкательными или размыкательными —

все равно, нетрудно убѣдиться, что измѣненій въ отклоненій стрѣлки никакихъ не бываетъ. А изъ явленій вторичнаго сокращенія съ мышцы и нерва вы уже знаете, что при раздраженіи этихъ органовъ индукціонными ударами въ нихъ происходятъ ясныя измѣненія. Какъ же объяснить себѣ отрицательныя показанія мультипликатора? Что-нибудь одно: или измѣненія, вызываемыя въ мышцѣ и нервѣ индукціоннымъ ударомъ, не электрической натуры, или нашъ инструментъ недостаточно чувствителенъ для показанія этихъ летучихъ измѣненій. Вы уже, конечно, знаете послѣдній недостатокъ за мультипликаторомъ и потому посмотримъ на опытѣ, на сколько онъ въ самомъ дѣлѣ тупъ къ индукціоннымъ ударамъ, длящимся, какъ извѣстно, очень незначительное время.

На подушки мультипликатора *AA* (шематич. фиг. 44-я) я кладу нитку *ab*, смоченную цинковымъ купоросомъ, концы же послѣдней кладу на цинковые концы электродовъ, идущихъ отъ вторичной спирали индукціоннаго аппарата. Ясно, что каждый индукціонный ударъ долженъ проходить по ниткѣ или отъ *a* къ *b*, или наоборотъ; слѣдовательно каждый ударъ долженъ давать вѣтвь тока въ проволоку мультипликатора, которая должна дѣйствовать на магнитную стрѣлку. А между тѣмъ вы видите, что послѣдняя при отдѣльныхъ ударахъ остается покойной. Дѣло объясняется тѣмъ, что вообще магнитная стрѣлка мало чувствительна къ токамъ, длящимся чрезвычайно мало времени; здѣсь же она вовсе нечувствительна къ нимъ потому, что на стрѣлку дѣйствуетъ не вся сила тока, а лишь незначительная часть послѣдняго, вѣтвящаяся съ нитки на проволоку мультипликатора, которая, конечно, представляетъ току больше препятствія, чѣмъ короткая нитка *ab*. То же самое можетъ быть и при опытахъ съ нервами и мышцами: и тамъ на мультипликаторъ можетъ дѣйствовать лишь часть того электрическаго движенія, которое, можетъ быть, происходитъ въ нервѣ и мышцѣ. Если наши предположенія справедливы, то должно получиться отклоненіе стрѣлки, если дѣйствовать на нитку или на одинъ конецъ нерва не индукціоннымъ, а токомъ гальваническаго элемента, такъ чтобы между замыканіемъ и размыканіемъ его проходило ощутительное время. Отклоненіе, какъ видите, въ самомъ дѣлѣ, происходитъ, и оно тѣмъ яснѣе, чѣмъ дольше токъ дѣйствуетъ на нервъ.

Такимъ образомъ мы пришли къ изученію вліянія постояннаго тока на электродинамическія явленія мышцъ и нервовъ.

Сумма относящихся сюда явленій составляетъ особый отдѣлъ, которому дю-Буа-Реймонъ далъ общее названіе ученія о нервномъ электротонѣ. Смыслъ этого названія слѣдующій: въ то время, когда дю-Буа изучалъ дѣйствіе постояннаго тока на электродинамическія свойства нервовъ и мышцъ, пфлюгеровскій столбнякъ отъ постояннаго тока не былъ еще извѣстенъ, поэтому дю-Буа всячески старался провести параллель между актомъ возбужденія нерва электрическимъ токомъ и электрической индукціей. Въ самомъ дѣлѣ нервъ, какъ тогда думали, подобно индуцируемому проводнику, приходитъ въ дѣятельное состояніе только при началѣ и концѣ тока; въ промежуткѣ же между этими моментами, т. е. когда по индуцирующему проводнику движется электрическій токъ съ постоянною силою, какъ нервъ, такъ и индуцируемый проводникъ не дѣятельны. Конечно состоянія ихъ и при этомъ условіи должны быть сходны. Состояніе индуцируемаго проводника въ то время, когда по индуцирующему движется электрическій токъ съ постоянною силою, Фэредэй назвалъ электротоническимъ; тѣмъ же именемъ назвалъ дю-Буа и состояніе нерва подъ вліяніемъ дѣйствующаго на него постояннаго тока. Въ настоящее время параллель между электрической индукціей и актомъ нервнаго возбужденія, какъ вы знаете, невозможна; слѣдовательно за словомъ «нервный электротонъ» остается лишь историческое значеніе. Тѣмъ не менѣе, какъ слово короткое, мы будемъ имъ пользоваться.

Приступимъ же къ фактической сторонѣ нервнаго электротона. Форма опытовъ здѣсь та же, которая описана при опредѣленіи вліянія индукціонныхъ ударовъ на электрическія свойства мышцъ и нервовъ, съ тѣмъ, конечно, различіемъ, что здѣсь раздражителемъ является постоянный токъ (для ясности эффектовъ, не менѣе чѣмъ изъ двухъ большихъ элементовъ Даніэля). Для удобства опытовъ въ кругъ послѣдняго вводится еще извращатель тока, дающій возможность быстро слѣдить за измѣненіями электродинамическихъ эффектовъ при измѣненіи направленія дѣйствующаго на нервъ тока. Послѣдній токъ, для краткости, мы будемъ называть «поляризующимъ», и вы увидите впослѣдствіи, на какомъ основаніи.

Начнемъ съ самой дѣятельной электродвигательной комбинацiи нерва, т. е. положимъ одинъ конецъ его на подушки мультипликатора поперечнымъ и продольнымъ разрѣзомъ, другой на электроды поляризующаго тока. Прежде чѣмъ послѣднiй замкнутъ, получается отклоненiе магнитной стрѣлки, вызванное покоющимся нервнымъ токомъ. Жду, пока отклоненiе сдѣлается постояннымъ. Замыкаю поляризующiй токъ. Видите—отклоненiе стрѣлки едва замѣтно увеличилось. Извращаю поляризующiй токъ—стрѣлка пошла немного назадъ. Ясно, что, смотря по направленiю, поляризующiй токъ то усиливаетъ, то ослабляетъ нервный. Интересно знать, не существуетъ ли связи между направленiями обоихъ токовъ. Она въ самомъ дѣлѣ есть и выражается такъ: если поляризующiй токъ совпадаетъ по направленiю съ нервнымъ въ части нерва, лежащей на подушкахъ мультипликатора (т. е. отъ поперечнаго разрѣза нерва къ продольной его поверхности), то послѣднiй усиливается; при обратномъ же направленiи обоихъ токовъ — нервный ослабляется. При видѣ этихъ явленiй у всякаго можетъ родиться мысль, что причина ихъ лежитъ, можетъ быть, въ вѣтвленiи поляризующаго тока отъ электродовъ на часть нерва, сообщенную съ мультипликаторомъ. Тогда, въ самомъ дѣлѣ, было бы понятно и усиленiе нервнаго тока при совпаденiи его направленiя съ поляризующимъ и ослабленiе въ противоположномъ случаѣ;—токи, дѣйствующiе на магнитную стрѣлку, суммировались бы между собою алгебраически. Доказать однако, что вѣтвленiе тока не играетъ роли въ видимыхъ нами явленiяхъ, очень легко: стоитъ только перевязать нервъ между частью его, сообщенною съ мультипликаторомъ, и мѣстомъ приложенiя къ нему электродовъ, тогда вѣтвленiе поляризующаго тока по прежнему возможно, а между тѣмъ наростанiя и ослабленiя отклоненiя уже не получается. Сверхъ того, опытъ показываетъ, что на мертвомъ нервѣ, гдѣ вѣтвленiе поляризующаго тока опять-таки возможно, электротоническихъ явленiй не замѣчается.

Если нервъ положенъ на подушки мультипликатора точками продольной поверхности, то явленiя при дѣйствiи на другой конецъ его постояннымъ токомъ остаются въ сущности тѣ же, какъ и описанныя для наиболѣе дѣятельной электродвигательной комбинацiи нерва. Только наростанiе и ослабленiе нервнаго тока выражаются здѣсь еще сильнѣе, чѣмъ тамъ. Наконецъ, если нервъ

сообщенъ съ мультипликаторомъ недѣятельными точками, т. е. лежащими симметрично относительно нервнаго экватора, то при поляризаціи его стрѣлка, бывшая до того на 0°, отклоняется, повидимому, сильнѣе, чѣмъ въ обоихъ разобранныхъ случаяхъ, и направленіе этого отклоненія указываетъ на развитіе въ части нерва, сообщенной съ мультипликаторомъ, электрическаго тока, совпадающаго по направленію съ поляризующимъ.

Всѣ разобранныя электротоническія явленія нисколько не зависятъ отъ того, который конецъ поляризуется и который сообщенъ съ мультипликаторомъ. Вы видите, слѣдовательно, что мы имѣемъ дѣло съ движеніемъ въ нервѣ, распространяющимся по его волокнамъ, какъ отъ периферіи къ центру, такъ и наоборотъ, съ одинаковою легкостью.

Чтобы покончить съ фактическою стороною нервнаго электротона, остается опредѣлить, что дѣлается при поляризаціи нерва съ частью послѣдняго, которая лежитъ отъ электродовъ въ сторону, противоположную концу его, сообщенному съ подушками мультипликатора. Другими словами, что̀ дѣлается съ нервными токами по обѣимъ сторонамъ электродовъ поляризующаго тока, когда послѣдніе приложены къ срединѣ нерва. Отвѣтъ на этотъ вопросъ возможенъ уже изъ того, что̀ намъ до сихъ поръ извѣстно. Въ самомъ дѣлѣ нервный токъ усиливается при совпаденіи его направленія съ поляризующимъ, и наоборотъ; въ нервѣ же, какъ извѣстно, нервные токи по обѣ стороны экватора имѣютъ противоположное другъ другу направленіе (отъ поперечныхъ разрѣзовъ къ экватору); слѣдовательно, если электроды поляризующаго тока приложены къ срединѣ нерва, то усиленіе нервнаго тока должно происходить въ той половинѣ его, гдѣ покоющійся нервный токъ имѣетъ одинаковое направленіе съ поляризующимъ; въ другой половинѣ должно быть ослабленіе. Дю-Буа, имѣя подъ руками два мультипликатора и очень большихъ лягушекъ, доказалъ это прямымъ опытомъ. Концы нерва были положены на подушки двухъ мультипликаторовъ, къ срединѣ же его приложены электроды постояннаго тока. На сторонѣ, гдѣ нервный токъ совпадалъ съ поляризующимъ, отклоненіе стрѣлки усиливалось, съ другой уменьшалось. Результатъ этотъ можно показать впрочемъ и на одномъ мультипликаторѣ. Стоитъ только въ двухъ сравниваемыхъ опытахъ, гдѣ нервъ раздражается по срединѣ и въ неизмѣн-

номъ направленіи, класть его на подушки мультипликатора сначала однимъ, потомъ другимъ концомъ. Въ первомъ опытѣ получится усиленіе отклоненія, въ другомъ наоборотъ.

Итакъ нѣтъ сомнѣнія: постоянный токъ измѣняетъ нервъ такимъ образомъ, что по обѣ стороны мѣста раздраженія получаются противоположные электродонамическіе эффекты.

Въ заключеніе лекціи привожу шематическія изображенія описанныхъ электротоническихъ опытовъ. На фиг. 46, въ части *ab* нерва *N*, сообщенной съ мультипликаторомъ, должно получиться усиленіе нервнаго тока. Въ фиг. 47, напротивъ, ослабленіе. Наконецъ въ 48-й изображенъ опытъ, гдѣ при поляризаціи нерва является токъ между точками послѣдняго, симметрично лежащими относительно нервнаго экватора.

XVII.

Условія и теорія нервнаго электротона. — Суммированіе отдѣльныхъ электротоническихъ толчковъ.—Перерывистое раздраженіе. — Отрицательное колебаніе тока.

М. Г.

Сегодня мы займемся опредѣленіемъ обстоятельствъ, вліяющихъ на электротоническія явленія нерва, видѣнныя вами въ прошлый разъ. Обстоятельства эти, какъ вы сейчасъ увидите, сами по себѣ, - не по вліянію ихъ на нервный электротонъ,—тѣ же самыя, которыя были разобраны при изученіи условій возбужденія нерва электрическимъ токомъ. Поэтому было бы излишне вдаваться въ подробности предстоящихъ опытовъ тамъ, гдѣ пріемы ихъ сходны съ изложенными уже прежде; только въ случаяхъ, гдѣ, по самой сущности дѣла, форма опыта должна быть отлична отъ прежней, я стану ее описывать.

Сила тока, при прочихъ равныхъ условіяхъ, стоитъ въ прямомъ отношеніи къ явленіямъ электротона. Найдти предѣлъ этому усиленію однако нельзя, потому что съ возрастаніемъ силы поляризующаго тока является возможность вѣтвленія его съ электродовъ на часть нерва, сообщенную съ мультипликаторомъ. Точно также нельзя найдти и другаго предѣла электротоническихъ явленій, т. е.

той силы тока, при которой они начинаютъ выражаться отклоненіями стрѣлки: здѣсь играетъ роль, такъ сказать, индивидуальность нерва; кромѣ того, самое опредѣленіе было бы чрезвычайно относительно: оно имѣло бы смыслъ только для даннаго мультипликатора при данной степени чувствительности его астатической пары. Токъ, идущій перпендикулярно къ оси нерва, не вызываетъ въ немъ явленій электротона.

Съ удаленіемъ электродовъ поляризующаго тока отъ точекъ соприкасанія нерва съ подушками мультипликатора электротоническія явленія чрезвычайно быстро ослабѣваютъ. Результатъ совершенно противоположный тому, который замѣченъ при тѣхъ же условіяхъ относительно возбужденія нерва электрическимъ токомъ.

Съ увеличеніемъ разстоянія между электродами поляризующаго тока (межполюснаго пространства) явленія электротона усиливаются. Результатъ этотъ прямымъ опытомъ получить невозможно. Если, въ самомъ дѣлѣ, оставлять электродъ ближайшій къ части нерва, сообщенной съ мультипликаторомъ, неподвижнымъ, а отодвигать болѣе удаленный отъ нея (дѣлать противное, конечно, непозволительно, потому-что электроды приблизились бы тогда къ части нерва, сообщенной съ мультипликаторомъ, и въ явленіе вмѣшивалось бы предъидущее условіе, усиливающее само по себѣ электротоническія явленія), то электротоническія явленія не только не усиливаются, но, напротивъ, ослабѣваютъ. Причина этому лежитъ однако въ томъ, что съ увеличеніемъ межполюснаго пространства значительно увеличивается величина препятствія въ цѣпи поляризующаго тока, который слѣдовательно ослабѣваетъ. Чтобы компенсировать это ослабленіе, дю-Буа вводилъ въ цѣпь поляризующаго тока чрезвычайно большое препятствіе, въ сравненіи съ которымъ наростаніе сопротивленія въ цѣпи, происходящее отъ увеличенія межполюснаго пространства, уничтожилось, и бралъ тогда, конечно, значительное число гальваническихъ элементовъ (12 маленькихъ Грове). При такой формѣ опыта онъ получилъ усиленіе электротоническихъ явленій съ увеличеніемъ межполюснаго пространства. Того же результата онъ достигъ еще другимъ образомъ. Въ двухъ сравниваемыхъ опытахъ разстояніе между электродами поляризующаго тока оставалось неизмѣннымъ, но при второмъ онъ перевязывалъ нервъ по срединѣ между электродами мокрою ниткой. Отъ перевязки нерва, какъ онъ убѣдился

опытомъ, сила поляризующаго тока, слѣдовательно и препятствіе въ цѣпи, не измѣнилось (послѣднее скорѣе увеличилось, чѣмъ уменьшилось), возбужденіе же нерва, вызывающее электротоническое движеніе въ части его, сообщенной съ мультипликаторомъ, стало возможнымъ теперь только между лигатурой и ближайшимъ къ мультипликатору электродомъ; пространство это (межполюсное) конечно меньше, чѣмъ въ первомъ опытѣ, и электротоническія явленія здѣсь слабѣе, чѣмъ тамъ.

Вліянія разстоянія между точками соприкасанія нерва съ подушками мультипликатора на силу электротоническнхъ явленій опредѣлить нельзя, потому что съ увеличеніемъ и уменьшеніемъ этого пространства, независимо отъ появленія прочихъ обстоятельствъ, вліяющихъ на степень отклоненія магнитной стрѣлки, измѣняется разстояніе между электродами и частью нерва, сообщенною съ концами мультипликатора.

На степень электротоническихъ явленій въ нервѣ имѣетъ наконецъ значительное вліяніе степень его раздражительности. Съ лягушками, зимующими въ неволѣ, опыты удаются очень плохо. Умершій нервъ, какъ было замѣчено выше, вовсе не показываетъ электротоническихъ явленій. Впрочемъ послѣднія переживаютъ раздражительность нерва, т. е. способность его вызывать въ мышцѣ сокращенія.

Вотъ тѣ факты, на основаніи которыхъ мы приступимъ теперь къ физической теоріи нервнаго электротона.

Допустимъ прежде всего, что вліяніе постояннаго тока на нервъ не только выражается, но и дѣйствительно заключается въ томъ, что въ одной половинѣ послѣдняго электродвигательная дѣятельность усиливается, въ другой ослабѣваетъ. Измѣненный такимъ образомъ нервъ можно было бы себѣ представить состоящимъ изъ двухъ половинъ, изъ которыхъ одна значительно толще другой (фиг. 49). Вы помните, что чѣмъ толще нервъ, тѣмъ его электродвигательная дѣятельность сильнѣе; стало быть, толстая половина нерва соотвѣтствовала бы той, въ которой направленіе нервнаго тока совпадаетъ съ поляризующимъ; тонкая наоборотъ. Посмотрите, что бы тогда было: при наложеніи концовъ мультипликатора на точки *a* и *b* продольной поверхности такого нерва, симметричныя относительно экватора, получился бы въ дугѣ мультипликатора токъ отъ *a* къ *b*, потому что электрическое напряженіе въ

толстой половинѣ нерва значительнѣе, чѣмъ въ тонкой; но тогда въ самомъ нервѣ токъ этотъ имѣлъ бы противоположное направленіе, которое, какъ видите, вмѣстѣ съ тѣмъ противоположно и направленію поляризующаго тока; а между тѣмъ вы знаете, что если нервъ сообщенъ съ мультипликаторомъ точками, симметричными относительно экватора, то при поляризаціи нерва между ними является токъ, совпадающій по направленію съ поляризующимъ. Стало быть сдѣланная нами гипотеза о сущности измѣненія нерва подъ вліяніемъ постояннаго тока не годится, —есть электротоническое явленіе, противорѣчащее ей. Притомъ гипотеза эта въ высокой степени искуственна: ею приписывается нервному экватору какое-то особенное значеніе: по одну оторону его электрическій токъ долженъ проводить нервные молекулы въ одно состояніе, на другую въ противоположное. Чтобы избѣжать послѣдней неестественности, можно было бы предположить, что усиленіе и ослабленіе электродвигательной способности нерва идутъ, абсолютно уменьшаясь по величинѣ, отъ концовъ нерва къ экватору; но и черезъ это предположеніе гипотеза не выиграла бы въ вѣроятности, потому что токъ, отведенный при этомъ условіи отъ точекъ симметричныхъ къ экватору, все-таки имѣлъ бы направленіе противоположное тому, которое дѣйствительно замѣчается въ поляризованномъ нервѣ. И потому для объясненія явленій послѣдняго остается только одна возможность: принять, что подъ вліяніемъ постояннаго тока, приложеннаго къ нерву въ какихъ-нибудь двухъ точкахъ, по всей длинѣ органа развивается электродвигательная дѣятельность, обусловливающая токъ въ томъ же направленіи, что и поляризующій, но постепенно ослабѣвающій съ удаленіемъ отъ мѣста приложенія электродовъ. Тогда объясняются въ самомъ дѣлѣ, всѣ явленія нервнаго электротона. Токъ этотъ, по своему дѣйствію на магнитную стрѣлку, долженъ суммироваться алгебраически съ нервными, отведенными отъ различныхъ точекъ нерва, и потому усиливаетъ тѣ изъ послѣднихъ, которые имѣютъ одинаковое съ нимъ направленіе, напротивъ ослабляетъ противоположные. Понятнымъ становится также, почему эффектъ постояннаго тока выражается слабо при сообщеніи нерва съ мультипликаторомъ самыми дѣятельными въ электродинамическомъ отношеніи точками, и наоборотъ выражается всего рѣзче, если сообщены точки вовсе недѣятельныя: въ первомъ случаѣ эффектъ

маскируется присутствіемъ сильнаго нервнаго тока; во второмъ же онъ является совершенно свободнымъ.

Чтобы дать вамъ наглядное понятіе объ электродвигательномъ измѣненіи нерва подъ вліяніемъ постояннаго тока, я приведу вамъ два физическихъ факта, могущихъ служить такъ сказать, образами занимающаго насъ явленія. Вольтовъ столбъ, какъ извѣстно, представляетъ рядъ пластинокъ съ поочередно мѣняющимися электрическими напряженіями. Будучи погруженъ въ слой проводника, онъ даетъ токъ всегда въ одномъ и томъ же направленіи, съ какими бы точками его поверхности ни были сообщены концы мультипликатора. Это значитъ, по всей длинѣ столба существуетъ токъ одного и того же направленія. То же самое мы находимъ въ сущности и въ нервѣ подъ вліяніемъ поляризующаго тока, если абстрагировать отъ нервныхъ токовъ, вмѣшивающихся въ явленіе, слѣдовательно модифицирующихъ послѣднее. Другую аналогію съ нашимъ явленіемъ представляетъ измѣненіе жидкостей подъ вліяніемъ проходящаго чрезъ нихъ электрическаго тока — явленія электролиза. Для объясненія послѣднихъ, физика, какъ извѣстно, прибѣгаетъ къ гипотезѣ о распаденіи жидкости на мельчайшія частицы съ противоположными электрическими напряженіями, которыя расположены рядами по кривымъ движенія электрическаго тока и странствуютъ къ разноименнымъ полюсамъ. Приложите къ какимъ-нибудь двумъ точкамъ поверхности жидкаго проводника, по которому двигается электрическій токъ, концы мультипликатора, и вы получите отведенный токъ въ одномъ и томъ же направленіи съ главнымъ. То же самое и въ нервѣ. Какъ тамъ жидкость подъ вліяніемъ постояннаго тока распадается на ряды частицъ съ противоположными электрическими напряженіями, — поляризуется, такъ должно быть и въ нервѣ [1]). Этимъ однако и ограничивается аналогія. Въ дальнѣйшихъ подробностяхъ явленія поляризація нерва уже значительно отличается отъ поляризаціи жидкаго проводника. Если, въ самомъ дѣлѣ, поперечный разрѣзъ послѣдняго малъ въ сравненіи съ длиною, какъ это всегда имѣетъ мѣсто въ нервѣ, и электрическій токъ проходитъ лишь

---

[1]) Вотъ основаніе, почему постоянный токъ, дѣйствующій на нервъ, мы назвали поляризующимъ, а самый нервъ подъ вліяніемъ его—поляризованнымъ.

по незначительной части длины проводника, около одного изъ его концовъ, то поляризація существуетъ только въ пространствѣ между электродами и, можетъ быть, въ точкахъ проводника, непосредственно прилежащихъ къ электродамъ, во всей же остальной части его поляризація если и существуетъ, то въ такой слабой степени, что никакими средствами открыта быть не можетъ. Если взять нитку *ab*, смоченную растворомъ цинковаго купороса, и положить одинъ конецъ ея на концы мультипликатора *MM* (фиг. 50), другой поляризовать, то стрѣлка остается неподвижной, какъ близко ни лежало бы мѣсто сообщенія нитки съ концами мультипликатора къ мѣсту приложенія электродовъ. Въ нервѣ же вы видѣли, что поляризація распространяется отъ электродовъ сравнительно далеко въ обѣ стороны. Въ послѣднемъ отношеніи нервъ рѣзко отличается отъ всѣхъ извѣстныхъ проводниковъ электричества, слѣдовательно явленія нервнаго электротона по ихъ смыслу, т. е. какъ поляризація молекуловъ, распространяющаяся далеко за предѣлы электродовъ, не имѣетъ въ физикѣ аналогій. Поэтому и гипотеза дю-Буа, не смотря на то, что ею вполнѣ объясняются всѣ явленія, представляемыя нервомъ подъ вліяніемъ постояннаго тока, остается все-таки гипотезой.

Установивъ такимъ образомъ физическое значеніе электротоническихъ явленій, я обращаюсь къ вліянію перерывистаго раздраженія нерва на электрическія свойства послѣдняго.

Вы видѣли, что если электрическій ударъ нерву продолжается примѣрно столько времени, сколько нужно для неторопливаго замыканія и размыканія постояннаго тока въ ртуть рукою, то стрѣлка мультипликатора начинаетъ уже двигаться. Слѣдовательно понятно, что рядъ такихъ ударовъ, когда направленіе ихъ остается постояннымъ, долженъ суммироваться по своему эффекту. Вы видите, въ самомъ дѣлѣ, что постоянное замыканіе и размыканіе тока рукою въ ртуть выводитъ стрѣлку изъ нулеваго положенія и направленіе ея отклоненія соотвѣтствуетъ направленію электрическихъ ударовъ, а величина приблизительно равна той, которая получается, когда данное перерывистое раздраженіе переходитъ въ постоянное. Стало быть, можно сказать, что электротоническія явленія въ нервѣ нисколько не измѣняются, если постоянный токъ перерывается такимъ образомъ, что перерывы слѣдуютъ не очень часто другъ за другомъ. Это и совершенно

естественно; но вотъ что странно: когда электрическіе удары, оставаясь неизмѣнными по направленію, слѣдуютъ чрезвычайно близко другъ за другомъ, то магнитная стрѣлка перестаетъ показывать то постоянство въ явленіяхъ, котораго бы слѣдовало ожидать a priori. Именно дю-Буа раздражалъ нервъ быстро слѣдовавшими другъ за другомъ индукціонными ударами въ одномъ и томъ же направленіи (мы, къ сожалѣнію, не имѣемъ такого снаряда) и замѣтилъ, что отрицательныя движенія магнитной стрѣлки, соотвѣтствующія ослабленію нервнаго тока, остаются почти неизмѣнными по величинѣ, явленія же наростанія тока почти вовсе сглажены: магнитная стрѣлка, отклоненная уже предварительно нервнымъ токомъ, подъ вліяніемъ перерывистаго раздраженія, совпадающаго по направленію съ этимъ токомъ, отклоняется въ положительную сторону или очень слабо, или вовсе не отклоняется, или даже положительное отклоненіе переходитъ въ отрицательное. Кромѣ того, онъ нашелъ, что вычисленныя явленія, не исключая и отрицательныхъ отклоненій стрѣлки, получаются рѣзко только въ случаѣ, если нервъ сообщенъ съ мультипликаторомъ самыми дѣятельными точками; когда же онъ лежитъ на концахъ его точками симметричными къ экватору, то иногда перерывистое раздраженіе (какое бы направленіе ни имѣло) оставляетъ стрѣлку на нулѣ. Отсюда вы видите, въ самомъ дѣлѣ, что электротоническій эффектъ при перерывистомъ раздраженіи хотя и получается, но несовершенно чисто: въ явленіе вмѣшивается какое-то новое электро-молекулярное измѣненіе нерва. Зная, какая огромная разница лежитъ въ физіологическомъ отношеніи между дѣйствіемъ на движущій нервъ перерывистаго и постояннаго тока,—первый приводитъ мышцу, связанную съ нервомъ, въ столбнякъ, второй оставляетъ ее въ покоѣ,—дю-Буа естественно могъ думать, что новое электро-молекулярное измѣненіе нерва соотвѣтствуетъ, можетъ быть, его физіологически-дѣятельному состоянію, и потому онъ сталъ искать средства раздражать нервъ такимъ образомъ, чтобы онъ приходилъ въ дѣятельное состояніе, а поляризація его была бы невозможна. Такое средство представляютъ индукціонные токи, мѣняющіе при каждомъ ударѣ свое направленіе. Если дѣйствовать такими токами на одинъ конецъ нерва, лежащаго другимъ на подушкахъ мультипликатора, то получаются, въ самомъ дѣлѣ, ясно выраженными лишь тѣ уклоненія отъ обыкновен-

ныхъ электротоническихъ явленій, которыя были упомянуты выше, самыя же электротоническія явленія въ описанной прежде формѣ совершенно исчезаютъ. Вотъ факты, получаемые при тетанизированіи нерва (такъ назвалъ дю-Буа дѣйствіе на нервъ перерывистаго раздраженія) индукціонными ударами, мѣняющими свое направленіе.

Который бы конецъ нерва ни былъ сообщенъ съ мультипликаторомъ, — центральный, или периферическій, — и который бы изъ нихъ ни подвергался раздраженію, во всякомъ случаѣ отклоненіе стрѣлки, соотвѣтствующее покоющемуся нервному току, при тетанизированіи нерва болѣе или менѣе уменьшается, — стрѣлка двигается назадъ. Отрицательное колебаніе нервнаго тока (такъ назвалъ дю-Буа описываемое нами явленіе) тѣмъ сильнѣе, чѣмъ сильнѣе было предшествовавшее отклоненіе стрѣлки покоющимся нервнымъ токомъ, слѣдовательно при сообщеніи концовъ мультипликатора съ точками продольной поверхности и поперечнаго разрѣза нерва. Когда нервъ лежитъ на концахъ мультипликатора недѣятельными въ электродвигательномъ отношеніи точками, то раздраженіе его оставляетъ стрѣлку на нулѣ. Послѣднее обстоятельство служитъ яснымъ доказательствомъ, что явленій поляризаціи нерва при такомъ способѣ раздраженія его дѣйствительно не существуетъ Если раздражать и сообщать съ мультипликаторомъ попеременно оба конца одного и того же нерва, то въ обоихъ случаяхъ получается отрицательное колебаніе тока, — ослабленіе существовавшаго передъ раздраженіемъ отклоненія магнитной стрѣлки. Однимъ словомъ, какія бы точки нерва (дѣятельныя въ электродвигательномъ отношеніи) ни были сообщены съ мультипликаторомъ, всегда при раздраженіи нерваго индукціонными ударами съ перемѣннымъ направленіемъ получается отрицательное колебаніе покоющагося нервнаго тока. Слѣдовательно способъ раздраженія, при которомъ нервъ преимущественно передъ другими приходитъ въ дѣятельное состояніе, вызываетъ въ этомъ органѣ электро-молекулярное измѣненіе, выражающееся повсемѣстнымъ ослабленіемъ нервныхъ токовъ. Послѣднее однако не во всѣхъ точкахъ по длинѣ нерва распредѣлено равномѣрно: съ удаленіемъ отъ мѣста раздраженія явленія отрицательнаго колебанія тока, подобно поляризаціи нерва, ослабѣваютъ, однако не такъ быстро, какъ явленія послѣдней. ()

дальнѣйшихъ обстоятельствахъ, вліяющихъ на силу отрицательнаго колебанія, я имѣю право только упомянуть, такъ какъ методы для опредѣленія этихъ вліяній должны уже всякому быть понятны безъ объясненій. Густота и сила тока, частота его перерывовъ, увеличеніе межполюснаго пространства и степень раздражительности нерва стоятъ въ прямомъ отношеніи къ силѣ разбираемаго нами явленія. При дѣйствіи индукціонными ударами на нервъ въ направленіи перпендикулярномъ къ его продольной оси, отрицательнаго колебанія нервнаго тока не получается. То же самое бываетъ, если нервъ перерѣзать или перевязать между мѣстомъ приложенія къ нему концовъ мультипликатора и электродовъ. Послѣднее обстоятельство, устраняя всякую мысль о какомъ бы то ни было возможномъ участіи въ явленіяхъ отрицательнаго колебанія тока вѣтвленія раздражающаго съ электродовъ въ стороны, доказываетъ вмѣстѣ съ тѣмъ несомнѣннымъ образомъ, что разсматриваемое нами явленіе, подобно процессу поляризаціи нерва и самому акту нервнаго возбужденія, есть движеніе молекулярное.

Такимъ образомъ найденъ новый объективный признакъ, которымъ отличается дѣятельный движущій нервъ отъ покойнаго; прежде выраженіемъ перваго состоянія нерва служило лишь болѣе или менѣе продолжительное сокращеніе въ связанной съ нимъ мышцѣ, теперь оно выражается, сверхъ того, молекулярнымъ движеніемъ, дающимъ отрицательное колебаніе нервнаго тока. Положеніе это справедливо пока только для электрическаго раздраженія нерва, отдѣленнаго отъ тѣла; но мы сейчасъ увидимъ, что оно имѣетъ мѣсто и при другихъ способахъ возбужденія этого органа къ дѣятельности, когда онъ притомъ находится въ связи съ нервнымъ центромъ. Средство доказать это даетъ отражательный столбнякъ, бывающій при отравленіи животныхъ стрихниномъ. Вотъ форма этого замѣчательнаго опыта, произведеннаго дю-Буа-Реймономъ: большая лягушка укрѣпляется неподвижно на приличной формы подставкѣ спиною кверху. По всей длинѣ бедра и таза обнажаютъ сѣдалищный нервъ съ его сплетеніемъ, перерѣзываютъ нижній конецъ нерва и кладутъ его точками поперечнаго разрѣза и продольной поверхности на подушки мультипликатора. Верхній конецъ нерва остается такимъ образомъ въ связи съ нервнымъ центромъ. За тѣмъ животное отравляется подъ кожу

азотнокислымъ стрихниномъ. Ждутъ, пока дѣйствіе яда начнетъ обнаруживаться легкими отражательными вздрагиваніями при легкомъ сотрясеніи подставки, на которой укрѣплена лягушка. Тогда снимаютъ замыкательную подушку мультипликатора, и когда стрѣлка отклонилась на постоянную величину, сильнымъ механическимъ ударомъ около лягушки вызываютъ въ ней столбнякъ. Стрѣлка двигается назадъ. Къ сожалѣнію, этотъ опытъ слишкомъ тонокъ; удача его вполнѣ зависитъ отъ времени, когда вызывается сильный отражательный столбнякъ, а послѣднее зависитъ, такъ сказать, отъ индивидуальности данной лягушки, и потому опытъ принадлежитъ къ кабинетнымъ.

XVIII.

Смыслъ явленія отрицательнаго колебанія нервнаго тока. — Отношеніе электродинамическихъ измѣненій нерва подъ вліяніемъ постояннаго и перерывистаго электрическаго раздраженія его къ акту нервнаго возбужденія. — Вторичный электротонъ. — Явленія, представляемыя мышцей подъ вліяніемъ постояннаго и перерывистаго тока.

М. Г.

Въ прошлый разъ вы видѣли, что раздраженіе нерва перерывистымъ токомъ, мѣняющимъ свое направленіе, выражается на мультипликаторѣ ослабленіемъ покоющагося нервнаго тока по всей длинѣ нерва. Магнитная стрѣлка, бывшая отклоненною послѣднимъ, двигается при этомъ иногда съ такою силою назадъ [1]), что заходитъ за нулевое положеніе въ отрицательный квадрантъ; здѣсь она однако не останавливается, снова переходитъ чрезъ нуль и, успокоившись, показываетъ постоянное отклоненіе меньше того, которое соотвѣтствовало покоющемуся нервному току. При видѣ явленія у всякаго, конечно, родится невольно мысль, что при тетанизированіи нерва въ части его, сообщенной съ мультипликаторомъ, развивается мгновенно токъ обратнаго направленія нерв-

---

[1]) На цинковыхъ концахъ мультипликатора неполяризующихся я этого однако никогда не замѣчалъ.

ному, котораго эффектъ, при подвижности магнитной стрѣлки, выражается рѣзко лишь въ началѣ его дѣйствія. Съ другой стороны, если допустить, что также мгновенно происходитъ повсемѣстное ослабленіе электродвигательной дѣятельности въ нервѣ при его раздраженіи, то сильное движеніе магнитной стрѣлки назадъ столько же понятно. Которое же изъ этихъ двухъ объясненій справедливо? Первое, т. е. развитіе тока, противоположнаго по направленію нервному, невѣроятно уже потому, что тогда пришлось бы принять, что токъ этотъ по обѣ стороны отъ электродовъ имѣетъ противоположное направленіе. Кромѣ того, есть средство доказать невѣрность разбираемаго предположенія на опытѣ: стоитъ только сообщать съ мультипликаторомъ нервъ уже раздражаемый, тогда въ моментъ сообщенія стрѣлка должна была бы, подъ вліяніемъ отрицательнаго тока, двинуться въ сторону противоположную той, которая соотвѣтствуетъ отклоненію покоющимся токомъ, а этого между тѣмъ никогда не бываетъ. Форма опыта очень проста: нервъ кладется однимъ концомъ на подушки мультипликатора, другимъ на электроды раздражающаго тока и тетанизируется при замкнутомъ кругѣ концовъ мультипликатора, т. е. когда на главныхъ подушкахъ лежитъ еще замыкательная. Послѣдняя поднимается и стрѣлка, какъ видите, отклоняется въ томъ же направленіи, въ которомъ произошло бы движеніе ея подъ вліяніемъ покоющагося нервнаго тока данной комбинаціи. И такъ измѣненія въ нервѣ при перерывистомъ раздраженіи заключаются въ повсемѣстномъ ослабленіи его электродвигательной дѣятельности; но о молекулярныхъ измѣненіяхъ, лежащихъ въ основѣ этого явленія, мы, конечно, не имѣемъ понятія съ тѣхъ поръ, какъ электро-молекулярная гипотеза дю-Буа пошатнулась [1]).

Такимъ образомъ разсмотрѣны всѣ извѣстныя до сихъ поръ измѣненія электрическихъ свойствъ нерва при постоянномъ и перерывистомъ раздраженіи его электрическимъ токомъ. Всѣ относящіяся сюда явленія могутъ быть раздѣлены на двѣ отдѣльныхъ

---

[1]) Вопросъ объ объясненіи отрицательнаго колебанія тока нельзя однако считать законченнымъ и въ изложенномъ нами смыслѣ, потому что пока не достаетъ еще подробнаго изслѣдованія электрическихъ свойствъ нерва подъ вліяніемъ постояннаго тока той силы, который производитъ пфлюгеровскій мышечный столбнякъ.

группы: 1) явленія поляризаціи нерва, или нервнаго электротона, и 2) явленія повсемѣстнаго ослабленія электродвигательной способности нерва, выражающіяся отрицательнымъ колебаніемъ нервнаго тока. Первая группа явлений вызывается дѣйствіемъ на нервъ постояннаго тока и перерывистаго, если удары послѣдняго слѣдуютъ не часто другъ за другомъ и остаются неизмѣнными по направленію. При противныхъ условіяхъ перерывистаго раздраженія получается, какъ вамъ извѣстно, отрицательное колебаніе тока — вторая группа явлений. Поставимъ теперь рядомъ съ этими электродинамическими физіологическіе эффекты того же самаго раздраженія. Изъ такого сопоставленія мы должны, конечно, получить понятіе объ отношеніи между актомъ нервнаго возбужденія съ одной стороны электротоническими измѣненіями, нерва и явленіемъ отрицательнаго колебанія тока — съ другой.

Начнемъ съ поляризаціи. По скольку явленіе это вызывается дѣйствіемъ на нервъ постояннаго тока, по стольку оно есть спутникъ дѣятельнаго состоянія только въ чувствующемъ нервѣ; въ движущемъ, какъ вамъ извѣстно, дѣятельность совпадаетъ лишь съ началомъ и концомъ поляризующаго тока. Стало быть, между электротоническимъ движеніемъ въ нервѣ и актомъ возбужденія послѣдняго нѣтъ прямой связи. Такому заключенію нисколько не противорѣчитъ поляризація движущаго нерва отъ перерывистаго тока съ неизмѣннымъ направленіемъ ударовъ, при дѣйствіи котораго нервъ приходитъ въ то же время въ дѣятельное состояніе. Послѣднее обстоятельство доказываетъ только, что электротоническое измѣненіе нерва можетъ существовать рядомъ съ его дѣятельнымъ состояніемъ. И такъ, на основаніи фактовъ, связь между электротономъ и актомъ нервнаго возбужденія можетъ быть выражена слѣдующимъ образомъ: нервъ приходитъ въ дѣятельность только при началѣ и концѣ электротоническаго движенія въ немъ. Теперь спрашивается, существуетъ ли причинная связь между обоими явленіями, стоящими рядомъ, т. е. можно ли сказать, что одно не можетъ существовать безъ другаго, или можетъ быть связь эта еще интимнѣе—процессъ нервнаго возбужденія есть не что иное, какъ начало или конецъ электротоническаго движенія? Для рѣшенія этихъ вопросовъ слѣдуетъ сравнить между собою всѣ условія электротона и акта нервнаго возбужденія; кромѣ того, всѣ побочныя явленія, вызываемыя тѣмъ и другимъ. Въ послѣднемъ отно-

шеніи знанія наши представляютъ маленькій пробѣлъ и теперь мы постараемся его пополнить. Вы помните явленія вторичнаго сокращенія съ нерва, со всѣми ихъ условіями. Они привели насъ къ мысли, что возбужденное состояніе одного нервнаго волокна передается сосѣднему, если мѣсто касанія обоихъ лежитъ близъ мѣста раздраженія перваго. Исключенія изъ этого правила нѣтъ— дѣйствовать ли на непосредственно раздражаемый нервъ отдѣльными ударами, или рядомъ ихъ. Теперь посмотримъ, существуетъ ли передача съ нерва на нервъ электротоническихъ движеній. Форма опытовъ такая: кладется нервъ на подушки мультипликатора точками продольной поверхности (для ясности явленія, всего лучше симметричными къ экватору); къ одному изъ его свободныхъ концовъ прикладывается другой, и послѣдній внѣ точекъ соприкосновенія съ первымъ нервомъ поляризуется то въ одномъ, то въ противоположномъ направленіи (фиг. 51 и 52). Эффектъ, производимый вторично поляризуемымъ нервомъ на стрѣлку мультипликатора, можно выразить слѣдующимъ образомъ: поляризація непосредственно раздражаемаго нерва передается сосѣднему, но въ обратномъ направленіи, такъ что токъ, развивающійся во вторично поляризуемомъ нервѣ, имѣетъ обратное направленіе относительно поляризующаго. Во всѣхъ другихъ отношеніяхъ явленія первичнаго и вторичнаго электротона совершенно сходны между собою, т. е. въ послѣднемъ явленія выражаются тѣмъ рѣзче, чѣмъ ближе лежитъ мѣсто первичнаго раздраженія къ точкамъ касанія обоихъ нервовъ и къ мѣсту сообщенія вторично поляризуемаго съ мультипликаторомъ; кромѣ того, чѣмъ менѣе дѣятельна въ электродвигательномъ отношеніи послѣдняя комбинаціи. Должно замѣтить, сверхъ того, что отклоненія стрѣлки, производимыя вторичной поляризаціей, вообще слабѣе, чѣмъ при первичной, и потому вторичнаго отрицательнаго колебанія тока получить нельзя. Сравните теперь явленія и условія вторичнаго электротона съ тѣми, которыя были замѣчены при вторичномъ сокращеніи съ нерва, и вы убѣдитесь, что въ основаніи послѣднихъ явленій лежитъ передача быстраго электротоническаго движенія, такъ сказать—электротоническаго толчка съ одного нерва на другой. Въ самомъ дѣлѣ, вторичная поляризація и вторичное сокращеніе въ нервѣ возможны только въ случаѣ, если мѣсто касанія обоихъ нервовъ лежитъ близъ электродовъ поляризующаго (раздражающаго) тока.

Далѣе, вы знаете, что возбужденіе первично и вторично раздражаемаго нерва, по отношенію къ направленію раздражающаго тока, имѣетъ противоположный характеръ: если первый раздражается замыканіями и размыканіями восходящаго тока, то второй возбуждается какъ будто замыканіями и размыканіями нисходящаго, и наоборотъ. Въ явленіяхъ вторичнаго электротона лежитъ уже полная разгадка этому явленію. Вы видѣли, что токъ вторично поляризуемаго нерва имѣетъ обратное направленіе поляризующему. Стало быть, въ основѣ вторичнаго сокращенія съ нерва лежитъ дѣйствительно передача электротоническаго толчка съ раздражаемаго на сосѣдній, и оно объясняется такимъ образомъ: въ непосредственно раздражаемомъ нервѣ *a* токъ, соотвѣтствующій поляриазціи, имѣетъ направленіе поляризующаго; слѣдовательно на поверхности нерва токъ этотъ имѣетъ обратное направленіе; къ поверхности *a* приложенъ двумя или многими точками нервъ *b*; часть его *mn* представляетъ, конечно, путь для тока, идущаго по поверхности *a*; онъ и проходитъ дѣйствительно черезъ *mn* въ направленіи обратномъ поляризующему. Стало быть вторичное возбужденіе нерва есть не что иное, какъ особая форма раздраженія его электрическимъ токомъ и оно стоитъ съ актомъ нервнаго возбужденія въ такой же связи, какъ и всякое электротоническое движеніе въ нервѣ вообще. Мы и обращаемся теперь снова къ послѣднему вопросу, т. е. къ сравненію условій нервнаго электротона и возбужденія нерва электрическимъ токомъ. Между этими условіями существуетъ, какъ уже разъ выше было замѣчено, одно очень важное несходство: движеніе возбужденія, распространяясь по длинѣ нерва, на пути своемъ постоянно наростаетъ, тогда какъ электротоническое съ удаленіемъ отъ мѣста раздраженія чрезвычайно быстро ослабѣваетъ. И этого несходства, конечно, уже достаточно, чтобы сказать положительно, что между обоими родами движенія нѣтъ тождества. Что же касается причинной связи между ними, то она, на основаніи извѣстныхъ намъ пока фактовъ, можетъ быть лишь предполагаема, но не рѣзко доказана. Въ самомъ дѣлѣ, съ одной стороны извѣстно, что мертвый нервъ не можетъ быть поляризованъ; съ другой, вы знаете, что способность нерва поляризоваться подъ вліяніемъ постояннаго тока хотя и не надолго, но все-таки, переживаетъ его раздражительность. Впослѣдствіи вы увидите однако на опытѣ, что между поляризаціей нерва и его

раздражительностью существуетъ самая тѣсная связь (лекціи 20 21 и пр.).

Въ пятнадцатой лекціи изложены доводы, заставляющіе думать, что дѣйствіе воли на движущіе нервы должно быть подобно раздраженію ихъ перерывистымъ электрическимъ токомъ. Въ прошлую же найдено, что подъ вліяніемъ такого раздраженія нервъ представляетъ особаго рода молекулярное измѣненіе, выражающееся отрицательнымъ колебаніемъ нервнаго тока. Явленіе это, подобно элекртотоническому движенію идетъ отъ мѣста раздраженія по длинѣ нерва, ослабѣвая; такъ же, какъ оно, свойственно только живымъ нервамъ, переживаетъ однако, хотя и не надолго, раздражительность послѣднихъ. Стало быть, объ отношеніи явленій отрицательнаго колебанія тока къ физіологической дѣятельности нерва можно сказать то же самое, что сказано относительно электротона: причинная связь между ними можетъ быть допущена, но не доказана. Опытъ Функе, по которому нервы животнаго, отравленнаго кураре, будучи нераздражительными, даютъ однако отрицательное колебаніе тока, не уничтожаетъ еще возможности причинной связи между дѣятельнымъ состояніемъ нерва и явленіями повсемѣстнаго ослабленія его электродвигательныхъ свойствъ, потому что здѣсь можно сказать то же самое, что сказано по поводу отношенія электрическихъ свойствъ нерва къ его физіологической дѣятельности.

Обращаюсь теперь къ опредѣленію вліянія постояннаго и перерывистаго тока на электрическія свойства мышцы. Вы уже знаете, что подъ вліяніемъ короткаго электрическаго удара (индукціоннаго) мышца, подобно нерву, не представляетъ никакихъ измѣненій въ электродвигательной дѣятельности. Но она остается нечувствительною и къ вліянію тока, длящагося болѣе долгое время, т. е. не поляризуется, подобно нерву, подъ вліяніемъ постояннаго тока, будетъ ли послѣдній дѣйствовать на нервъ, связанный съ мышцей, или прямо на одинъ изъ концовъ мышцы. При послѣднемъ способѣ раздраженія необходимо брать тонкія длинныя мышцы, иначе поляризующій токъ будетъ вѣтвиться по толщѣ органа отъ электродовъ въ стороны и вѣтви эти могутъ подѣйствовать на стрѣлку мультипликатора, что̀ ввело бы въ заблужденіе. Беру m. sartorius лягушки, кладу его однимъ концомъ на подушки мультипликатора, другимъ на электроды поляризующаго тока. Выжидаю

постояннаго отклоненія стрѣлки мышечнымъ токомъ, и тогда замыкаю поляризующій. Стрѣлка, какъ видите, нисколько не измѣняетъ своего положенія. Это еще первое рѣзкое отличіе мышцы отъ нерва въ электродинамическомъ отношеніи. Къ сожалѣнію, мы не можемъ опредѣлить причинъ такого различія, т. е. неспособности мышцы поляризоваться подъ вліяніемъ постояннаго тока, тогда какъ нервъ показываетъ это явленіе; а потому невозможны и выводы изъ этого различія. Будь еще гипотеза дю-Буа о периполярномъ расположеніи мулекулъ въ мышцѣ и нервѣ справедливою, тогда можно было бы, на основаніи отсутствія электротоническихъ явленій въ мышцѣ, сказать съ нѣкоторою вѣроятностью, что поляризація нерва (конечно, внѣполюсная) не стоитъ въ роковой связи съ периполярнымъ расположеніемъ его молекулъ. Теперь же и такое заключеніе, какъ вы знаете, невозможно. Слѣдовательно мы имѣемъ право не останавливаться долѣе на описанномъ явленіи и перейдти къ вліянію перерывистаго электрическаго раздраженія на электродинамическія свойства мышцы. Послѣдній органъ представляетъ здѣсь снова полную аналогію явленій съ нервомъ, находящимся подъ тѣми же условіями: получается, какъ и тамъ, отрицательное колебаніе тока—здѣсь, конечно, уже мышечнаго, будетъ ли раздражаться мышца прямо или черезъ нервъ. Форма опытовъ та же, которая описана при опредѣленіи вліянія отдѣльныхъ электрическихъ ударовъ на электрическія свойства мышцы. Для того, чтобы послѣдняя не могла передвигаться по подушкамъ мультипликатора во время столбняка, употребляется та же растягивающая машинка, которая тамъ описана. Здѣсь однако эта уловка имѣетъ еще больше смысла: ею доказывается, что наступающее при столбнякѣ измѣненіе мышцы, въ электродинамическомъ отношеніи, не зависитъ отъ перемѣщенія точекъ ея поверхностей на концахъ мультипликатора. И здѣсь, какъ въ нервѣ, сила отрицательнаго колебанія тока стоитъ въ прямой связи съ величиною предшествовавшаго отклоненія магнитной стрѣлки покоющимся мышечнымъ токомъ: она всего сильнѣе, когда мышца касается концовъ мультипликатора сухожиліемъ, или искуственнымъ поперечнымъ разрѣзомъ и продольною мясною поверхностью, и равна нулю, когда животная часть сообщена съ мультипликаторомъ точками недѣятельными въ электродвигательномъ отношеніи. Вообще же явленія отрицательнаго ко-

лебанія тока на мышцахъ получаются рѣзче, чѣмъ на нервахъ— стрѣлка здѣсь при первомъ раздраженіи почти всегда заходитъ за нулевое положеніе въ отрицательный квадрантъ [1]; но также переходитъ за тѣмъ снова въ положительный, въ которомъ и занимаетъ наконецъ постоянное положеніе, указывающее на ослабленіе электродвигательной дѣятельности. Если тетанизировать мышцу при замкнутомъ кругѣ концовъ мультипликатора и снять замыкательную подушку уже во время столбняка, то стрѣлка прямо идетъ въ положительный квадрантъ, т. е. двигается въ томъ направленіи, въ которомъ произошло бы отклоненіе ея покоющимся мышечнымъ токомъ данной комбинаціи точекъ. Однимъ словомъ, явленія совершенно тѣ же, что и при раздраженіи нерва перерывистымъ токомъ измѣнчиваго направленія. Естественно думать послѣ этого, что и смыслъ явленій въ обоихъ случаяхъ одинаковъ, т. е. что и въ мышцѣ, какъ въ нервѣ, дѣятельное состояніе выражается повсемѣстнымъ ослабленіемъ ея электродвигательной дѣятельности. Принять этого однако нельзя прежде, чѣмъ будутъ устранены нѣкоторыя побочныя обстоятельства, представляемыя сокращающеюся мышцей и могущія дать новое толкованіе явленіямъ отрицательнаго колебанія ея тока. Мы и займемся разсмотрѣніемъ этихъ обстоятельствъ.

XIX

Отрицательное отклоненіе стрѣлки при мышечномъ столбнякѣ не зависитъ отъ увеличенія препятствія электрическому току внутри мышцы при ея сокращеніи.—Отрицательное колебаніе тока на охлажденныхъ мышцахъ.—Послѣдовательныя электродинамическія измѣненія мышцъ и нервовъ вслѣдъ за ихъ электрическимъ раздраженіемъ.

М. Г.

Сокращеніе мышцы сопровождается, какъ извѣстно, измѣненіемъ ея формы и эластическихъ свойствъ. Можно думать a priori, что каждое изъ этихъ измѣненій, взятое отдѣльно, можетъ обу-

---

[1]) Въ цѣпь мышцы нужно включать не всѣ, а только половину оборотовъ мультипликатора.

словить измѣненіе въ проводимости мышечною тканью электрическихъ токовъ. Если допустить такую мысль и предположить въ то же время, что уменьшеніе величины сопротивленія мышцы отъ ея укорачиванія и утолщенія абсолютно меньше, чѣмъ увеличеніе того же сопротивленія отъ измѣненія эластическихъ свойствъ сокращающейся мышцы, то явленіе отрицательнаго колебанія мышечнаго тока объяснено. Въ самомъ дѣлѣ, покоющаяся мышца, замыкая собою цѣпь мультипликатора, даетъ извѣстное отклоненіе (мышечнымъ токомъ) магнитной стрѣлки, величина котораго находится въ обратномъ отношеніи къ суммѣ препятствій въ цѣпи, слѣдовательно и къ части послѣдняго, представляемой самой мышцей. При столбнякѣ, по нашему предположенію, препятствіе въ мышцѣ увеличивается. Ясно, что тогда должно произойдти уменьшеніе отклоненія стрѣлки. Изслѣдователю, какъ дю-Буа, нельзя было оставить безъ вниманія такой мысли: онъ и дѣлалъ опыты для разъясненія вопроса. Вліяніе измѣненія формы, которое при нашемъ способѣ сообщенія мышцы съ концами мультипликатора, конечно, должно уменьшать величину сопротивленія внутри органа, онъ устранилъ изъ опыта тѣмъ, что вводилъ въ цѣпь мышцу, растянутую въ извѣстной вамъ машинкѣ. Въ цѣпь мультипликатора (менѣе чувствительнаго, чѣмъ употребляемый для животно-электрическихъ опытовъ) вводились, сверхъ того, два стеклянныхъ сосуда *A* и *B* (фиг. 54). Первый былъ наполненъ азотной, второй сѣрной кислотами; въ первой опускались платиновая, во второй цинковая пластинки. Жидкости обоихъ сосудовъ сообщались между собою посредствомъ изслѣдуемой мышцы. Для этой цѣли m. gastrocnemius лягушки приготовлялся такимъ образомъ, что съ одного конца его оставалась лапка, съ другой часть бедра. Этими-то концами мышца и погружалась въ кислоты. Понятно, что при такомъ устройствѣ сосуды *A* и *B* вмѣстѣ съ мышцей представляли гальваническую пару Грове, въ которой глиняный цилиндръ, раздѣляющій кислоты, былъ замѣненъ другимъ скважистымъ тѣломъ— мышцей. Послѣдняя была оставлена въ связи съ своимъ нервомъ *N*, который раздражался перерывистымъ токомъ. Сначала опредѣлялась величина отклоненія стрѣлки при покойномъ положеніи мышцы, потомъ при столбнякѣ. Въ послѣднемъ случаѣ каждый разъ замѣчалось усиленіе отклоненія, — явный признакъ, что въ столбнякѣ проводимость мышцы, независимо и отъ измѣненія

формы, не только не уменьшается, но напротивъ увеличивается [1]). Возраженіе противъ этихъ опытовъ можетъ быть одно: въ гальваническій элементъ на мѣсто глинянаго цилиндра—простаго проводника, вводится электродвигатель—мышца. Здѣсь это обстоятельство не имѣетъ однако значенія: во-первыхъ потому, что электродвигательная сила мышцы въ сравненіи съ силой гальваническаго элемента почти равна 0; притомъ мультипликаторъ берется на столько нечувствительный, чтобы стрѣлка его не могла двигаться подъ вліяніемъ мышечнаго тока. И такъ, отрицательное колебаніе послѣдняго при столбнякѣ не зависитъ отъ увеличенія препятствія въ мышцѣ къ проведенію электрическихъ токовъ. Что касается до вопроса о связи этого явленія съ измѣненіемъ эластическихъ свойствъ мышцы при переходѣ ея отъ покоя къ дѣятельности, то онъ рѣшенъ опытами Гельмгольца, показавшими, что явленіе отрицательнаго колебанія тока совпадаетъ съ такъ называемымъ періодомъ скрытаго раздраженія, слѣдовательно предшествуетъ началу мышечнаго сокращенія. Результатъ этотъ очень наглядно подтверждается опытомъ вторичнаго сокращенія лягушечьяго препарата съ бьющагося сердца кролика: здѣсь сокращеніе перваго очевидно предшествуетъ систоле желудочка. При обыкновенныхъ же опытахъ съ мультипликаторомъ это обстоятельство незамѣтно лишь по причинѣ тупости иглы къ быстрымъ колебаніямъ силы тока. Такимъ образомъ устанавливается независимость явленій отрицательнаго колебанія мышечнаго тока отъ всѣхъ тѣхъ побочныхъ обстоятельствъ, сопровождающихъ мышечное сокращеніе, которыми дѣятельность этаго органа отличается отъ дѣятельности нерва. Послѣ этого естественно, конечно, думать, что молекулярный механизмъ, лежащій въ основѣ обоихъ видовъ отрицательнаго колебанія токовъ, одинаковъ. Для нервовъ было доказано, что дѣятельное состояніе ихъ выражается повсемѣстнымъ ослабленіемъ электродвигательной способности органа; стало быть и для мышцы тоже самое. Разница въ обоихъ случаяхъ лишь количественная: ослабленіе мышечнаго тока бываетъ при сокращеніи такъ сильна, что можетъ подать поводъ къ

[1]) Такіе же опыты дѣлалъ дю-Буа и съ нервомъ, но тамъ не получилъ никакого опредѣленнаго результата.

мысли о развитіи въ ней тока противоположнаго существующему. Послѣднее выражается особенно рѣзко въ мышцахъ охлажденныхъ, которыхъ покоющіеся токи значительно ослаблены. Вы знаете, что существуютъ степени охлажденія, при которыхъ мышца, сообщенная съ мультипликаторомъ сухожиліемъ и продольною поверхностью, не даетъ вовсе тока, оставляетъ стрѣлку на нулѣ. Такія мышцы способны однако приходить въ столбнякъ и даютъ вмѣстѣ съ этимъ значительное отрицательное колебаніе тока, т. е. отклоняютъ при раздраженіи стрѣлку въ сторону противоположную той, куда бы она пошла подъ вліяніемъ нормальнаго мышечнаго тока. Замѣчательно, что въ случаѣ сильнаго развитія парэлектрономическаго слоя, когда покоющійся мышечный токъ отъ сухожилія и мяса извращенъ, стрѣлка при тетанизированіи мышцы отклоняется не назадъ, а впередъ, получается слѣдовательно все-таки отрицательное колебаніе тока относительно нормальнаго мышечнаго. Эти два опыта объясняются тѣмъ, что парэлектрономическій слой, играя важную роль въ отведенныхъ отъ покоющейся мышцы токахъ, не принимаетъ никакого участія въ отрицательномъ колебаніи ихъ. Это и понятно, потому что для насъ парэлектрономическій и мертвый слой синонимы.

Значительное ослабленіе силы мышечныхъ токовъ при столбнякѣ даетъ въ руки средство наблюдать отрицательное колебаніе тока на живомъ человѣкѣ. Опыты были произведены дю-Буа и ихъ есть нѣсколько формъ для мышцъ нижнихъ и верхнихъ конечностей. Изъ нихъ я покажу вамъ самую простую и удобную для выполненія. Къ цинковымъ сосудамъ *AA* (фиг. 55) мультипликатора придаются два стеклянныхъ *BB*; послѣдніе наполняютъ растворомъ цинковаго купороса и соединяютъ съ первыми посредствомъ сообщающихъ подушекъ *CC*. На столѣ, гдѣ стоятъ *AA* и *BB*, подлѣ послѣднихъ укрѣпляется неподвижно валъ *D* такой толщины, чтобы его можно было удобно охватить кистью руки, и вмѣстѣ съ тѣмъ на столько крѣпкій, чтобы онъ могъ выдержать возможно сильное давленіе рукою. Валъ охватывается всѣми пальцами ручныхъ кистей, за исключеніемъ указательныхъ, которые погружаются по возможности глубоко въ *BB*. Такимъ образомъ концы мультипликатора приводятся въ соприкосновеніе съ двумя симметрическими мѣстами кожи, которыя даютъ обыкновенно чрезвычайно незначительное постоянное отклоненіе стрѣлки. На послѣд-

ню дѣйствуютъ, сверхъ того, мышечные токи обѣихъ рукъ (эквиваленты мышечнаго тока цѣлой конечности лягушки), но эффектъ ихъ равенъ или почти равенъ нулю, когда оба члена въ покоѣ, потому что оба тока, имѣя относительно продольной оси рукъ одинаковое направленіе, дѣйствуютъ противоположно одинъ другому въ цѣпи мультипликатора. Но вообразите себѣ, что который-нибудь изъ этихъ токовъ, ослабѣлъ; — ясно, что тогда стрѣлка должна двигаться въ сторону сильнѣйшаго. Это и происходитъ, если мышцы одной изъ рукъ находятся въ продолжительномъ произвольномъ сокращеніи. Вы видите, въ самомъ дѣлѣ, отклоненіе стрѣлки, если я сильно сокращаю одну изъ рукъ; притомъ отклоненія бываютъ противоположны, если сокращать то правую, то лѣвую и указываютъ въ то же время, что мышечный токъ въ рукѣ человѣка имѣетъ нисходящее направленіе. Подобные же опыты показали дю-Буа, что и въ нижнихъ конечностяхъ человѣка мышечный токъ, противоположно лягушечьему, идетъ отъ центра къ периферіи. Послѣднее обстоятельство заставило нѣкоторыхъ ученыхъ сомнѣваться въ томъ, что отклоненіе стрѣлки въ опытахъ дю-Буа есть дѣйствительно выраженіе ослабленія мышечнаго тока въ сокращенной рукѣ. Берлинскій профессоръ доказалъ однако неосновательность этихъ сомнѣній, показавши, что въ задней конечности кролика,—животнаго, стоящаго къ человѣку, конечно, ближе, чѣмъ лягушка, мышечный токъ имѣетъ нисходящее направленіе. Другія придирки къ смыслу изложенныхъ опытовъ невозможны; а потому вы видите, что и въ здоровомъ тѣлѣ человѣка произвольное сокращеніе мышцъ сопровождается ослабленіемъ ихъ электродвигательной дѣятельности. Но и здѣсь, какъ для нервовъ, нельзя однако доказать рѣзко причинной связи между обоими явленіями.

Чтобы покончить съ явленіями отрицательнаго колебанія мышечнаго тока, мнѣ остается теперь только напомнить вамъ, что оно лежитъ въ основѣ вторичнаго сокращенія съ мышцы. Распространяться объ этомъ было бы излишне: вы помните, мы разбирали вторичное сокращеніе съ мышцы, не зная еще отрицательнаго колебанія тока, но уже тогда былъ поводъ думать, что во время мышечной дѣятельности мышечный токъ долженъ претерпѣвать какое-нибудь быстрое колебаніе въ силѣ. Теперь въ существованіи такого колебанія вы убѣдились на опытѣ, слѣдовательно

странно было бы искать другаго объясненія вторичному сокращенію.

Вотъ всѣ извѣстныя до сихъ поръ непосредственныя измѣненія электродинамическихъ свойствъ мышцы подъ вліяніемъ электрическаго раздраженія. Составить себѣ изъ нихъ понятіе о самомъ процессѣ мышечнаго сокращенія, конечно, нельзя. Но, будучи поставлены рядомъ съ соотвѣтствующими измѣненіями дѣятельнаго нерва (я разумѣю, конечно, отрицательное колебаніе тока), факты эти приводятъ къ одному чрезвычайно важному заключенію: актъ возбужденія мышечной ткани, предшествующій сокращенію мышцы, и дѣятельное состояніе движущаго нерва сопровождаются одинаковыми электро-молекулярными движеніями въ томъ и въ другомъ органѣ. Если же связать мышцу и нервъ въ представленіи, какъ цѣлостный движущій аппаратъ, то результатъ выходилъ бы еще многозначительнѣе: актъ возбужденія движущаго аппарата сопровождался бы одинаковыми электро-молекулярными измѣненіями во всѣхъ его точкахъ. Послѣднее заключеніе требуетъ однако экспериментальнаго подтвержденія, котораго еще нѣтъ по той причинѣ, что до сихъ поръ наука не коснулась еще вопроса объ электродвигательныхъ явленіяхъ движущаго аппарата, т. е. сочетанія мышцы съ нервомъ вообще.

Обращаюсь теперь къ послѣдовательнымъ измѣненіямъ нерва и мышцы послѣ дѣйствія на нихъ электрическаго раздраженія въ различной формѣ. Отдѣлъ этотъ едва началъ разработываться и потому многаго сказать еще нельзя; но и теперь уже найдены очень важные по своему значенію факты.

Начнемъ съ послѣдствій поляризаціи нерва. Относящіяся сюда явленія замѣчены впервые Маттеуччи. Вотъ форма опыта. Нервъ кладется на подушки мультипликатора недѣятельными въ электродинамическомъ отношеніи точками и однимъ изъ свободныхъ концовъ на электроды поляризующаго тока (для ясности явленія, нужно брать не менѣе 3 большихъ элементовъ Даніэля). Узнается на мультипликаторѣ направленіе отклоненія стрѣлки при первичной поляризаціи нерва. Потомъ онъ подвергается дѣйствію постояннаго тока при замкнутомъ кругѣ концовъ мультипликатора минутъ 5—10. По истеченіи этого времени цѣпь поляризующаго тока размыкается; замыкательная подушка снимается съ главныхъ; нервъ вводится такимъ образомъ въ цѣпь мультипликатора и от-

клоняетъ, какъ видите, стрѣлку въ направленіи обратномъ существовавшему при первичной поляризаціи. Перенесите поляризующій токъ, не измѣняя его направленія, на другой свободный конецъ нерва, сообщеннаго съ мультипликаторомъ, повторите описанную операцію и послѣдовательное отклоненіе стрѣлки будетъ то же самое, что и прежде. Чтобы видѣть яснѣе послѣдовательный эффектъ поляризаціи нерва въ точкахъ его, дающихъ болѣе или менѣе сильные нервные токи, нужно брать для опыта два нерва и компенсировать вліяніе ихъ токовъ на стрѣлку мультипликатора, кладя объекты на концы послѣдняго одинаковыми точками, но въ обратномъ направленіи. Въ примѣрѣ, изображенномъ шематически на фиг. 56, нервы N и N' лежатъ на подушкахъ мультипликатора точками a, b и a', b' (поперечными разрѣзами и точками продольныхъ поверхностей). Обѣ комбинаціи даютъ нервные токи, равные по величинѣ, но противоположные по направленію; оттого ихъ эффектъ на стрѣлку равенъ нулю. Если поляризовать одинъ изъ нервовъ, напр. N' въ показанномъ направленіи, то непосредственнымъ эффектомъ поляризаціи будетъ ослабленіе нервнаго тока въ $a'b'$; стало быть, стрѣлка отклонится въ направленіи тока ab; послѣдовательное же отклоненіе имѣетъ обратное направленіе, совпадаетъ съ $a'b'$. Этихъ фактовъ уже достаточно, чтобы понять сущность измѣненій нерва, слѣдующихъ за поляризаціей его постояннымъ токомъ. Мы имѣемъ предъ глазами явленіе, свойственное въ бо̀льшей или меньшей степени всѣмъ жидкимъ проводникамъ, когда черезъ нихъ проходитъ токъ,—явленіе, отъ котораго зависитъ непостоянство силы гальваническаго тока, и которое извѣстно въ физикѣ подъ именемъ поляризаціи электродовъ. Напомню вамъ самую простѣйшую форму этого явленія. Извѣстно, что гальваническій токъ, проходя черезъ воду, разлагаетъ ее на кислородъ и водородъ; первый отдѣляется на положительномъ электродѣ, второй на отрицательномъ. Пока токъ разлагаетъ воду, онъ слѣдовательно идетъ по послѣдней отъ мѣста, гдѣ скопляется кислородъ, къ тому, гдѣ происходитъ выдѣленіе водорода. Оба газа при этомъ имѣютъ противоположныя электрическія напряженія: кислородъ отрицательное, водородъ положительное. Если батарея перестанетъ вдругъ дѣйствовать, то ясно, что электролиты будутъ стремиться уравнять свои электрическія напряженія и это выразится въ водѣ электрическимъ токомъ, который идетъ теперь уже

отъ водорода къ кислороду, имѣетъ слѣдовательно направленіе обратное первичному току. То же должно быть, конечно, и въ нервѣ, если по длинѣ его проходитъ электрическій токъ, потому что нервъ представляетъ тѣло, пропитанное во всѣхъ точкахъ водянымъ растворомъ различныхъ веществъ. Если, въ самомъ дѣлѣ, сообщить нервъ съ концами мультипликатора точками симметричными относительно экватора, приложить электроды къ обоимъ свободнымъ концамъ нерва (фиг. 57) и дѣйствовать постояннымъ токомъ при замкнутомъ кругѣ концовъ мультипликатора въ показанномъ направленіи; то послѣдовательное отклоненіе стрѣлки будетъ указывать въ нервѣ токъ противоположнаго направленія. Послѣ этого сомнѣній въ сущности разбираемыхъ нами явленій быть не можетъ. Это есть не что иное, какъ послѣдовательная поляризація нерва, противоположная по направленію первичной. Мы такъ и будемъ называть разбираемыя явленія. Условія ихъ тѣ же, что и при первичной поляризаціи; но, сверхъ того, напряженность ихъ стоитъ въ прямой связи съ продолжительностью дѣйствія на нервъ постояннаго тока. Чѣмъ длиннѣе это время, тѣмъ сильнѣе и въ то же время продолжительнѣе вторичная поляризація; напротивъ, при дѣйствіи на нервъ однимъ электрическимъ ударомъ вторичныхъ явленій на мультипликаторѣ не замѣчается, но они, конечно, должны быть, потому что электрическій токъ не можетъ не электролизировать жидкости, по которой проходитъ, какъ бы коротко ни было время этого прохожденія. Отсюда является возможность новаго воззрѣнія на размыкательное возбужденіе нерва или мышцы. Вы помните, это явленіе, т. е. сокращеніе мышцы при размыканіи тока, дѣйствовавшаго на нее прямо или черезъ нервъ, было объяснено колебаніемъ силы тока отъ опредѣленной величины до нуля; теперь, сверхъ того, оказывается, что при самомъ актѣ размыканія тока въ животныхъ частяхъ является поляризаціонный токъ обратнаго направленія, который, конечно, возбуждаетъ ихъ рядомъ съ существующимъ колебаніемъ силы раздражителя. Вторичная поляризація даетъ, кромѣ того, ключъ къ объясненію различія эффектовъ возбужденія зрительнаго нерва восходящимъ и нисходящимъ токомъ. Вы помните, что по характеру вызываемыхъ въ глазу ощущеній замыканіе нисходящаго тока соотвѣтствуетъ размыканію восходящаго, и наоборотъ. Теперь это становится вполнѣ понятнымъ: размыканіе восходящаго тока

даетъ поляризаціонный въ нисходящемъ направленіи, и наоборотъ. Та же самая законность должна существовать и для возбужденія движущаго нерва восходящимъ и нисходящимъ токомъ, но здѣсь она замаскирована нѣкоторыми обстоятельствами и тѣмъ, что внѣшнее проявленіе возбужденія имѣетъ всегда одинаковый качественный характеръ (см. таблицу Пфлюгера въ 23-й лекціи). Сейчасъ увидимъ, въ чемъ дѣло. При слабыхъ силахъ тока нервъ возбуждается только замыканіемъ восходящаго и нисходящаго токовъ. Это видимое противорѣчіе тому, чего бы слѣдовало ожидать [1]), можно объяснить тѣмъ, что поляризаціонный токъ, вызванный быстрымъ электрическимъ ударомъ, необходимо долженъ быть слабѣе послѣдняго, потому что часть живой силы этого удара идетъ на движеніе возбужденія нерва и теряется такимъ образомъ для вторичнаго тока. Слѣдовательно при размыканіи слабыхъ токовъ нервъ не возбуждается, потому, что вторичный поляризаціонный токъ слишкомъ слабъ. На это мнѣ могутъ возразить, что степень нервнаго возбужденія зависитъ, кромѣ того, отъ быстроты колебанія дѣйствующаго на него тока, слѣдовательно для отсутствія размыкательныхъ сокращеній нужно еще доказать, что продолжительность вторичнаго тока не очень мала въ сравненіи съ продолжительностью первичнаго. Въ этомъ убѣждаетъ васъ стрѣлка мультипликатора. Если бы вторичный поляризаціонный токъ продолжался одно мгновеніе, то онъ не производилъ бы ея отклоненія. Итакъ отсутствіе размыкательныхъ сокращеній при слабыхъ токахъ объяснимо; присутствіе же замыкательныхъ при обоихъ направленіяхъ не противорѣчитъ законности, выведенной изъ возбужденія зрительнаго нерва, потому что между возбужденіями нерва можетъ быть и есть разница, но для нашего глаза она выражается одинаково (до сихъ поръ еще не сдѣлано сравнительныхъ опытовъ относительно величины и продолжительности сокращенія въ обоихъ случаяхъ). При токахъ средней силы законность выражена уже ясно: сильныя сокращенія получаются при замыканіи нисходящаго и размыканіи восходящаго тока; въ двухъ другихъ случаяхъ сокращенія слабѣе. Еще рѣзче законность эта

---

[1]) Слѣдовало бы ожидать, что нервъ при одномъ направленіи тока возбуждается замыканіемъ, а при другомъ размыканіемъ.

видна на сильныхъ токахъ: сокращенія получаются только при замыканіи восходящаго и размыканіи нисходящаго, а при противныхъ условіяхъ или совершенный покой, или очень слабое сокращеніе.

Явленіе вторичной поляризаціи нерва даже послѣ очень короткихъ электрическихъ ударовъ стоитъ, повидимому, въ противорѣчіи съ явленіемъ суммированія физіологическихъ эффектовъ этихъ ударовъ, описанными въ XIV-й лекціи. Казалось бы, въ самомъ дѣлѣ, что сила каждаго новаго удара, однороднаго по направленію и величинѣ съ предъидущимъ, должна ослабляться существующимъ между ними поляризаціоннымъ токомъ обратнаго направленія; если однако раздѣлить весь актъ раздраженія на группы по два: — ударъ + его послѣдствіе, и принять, что послѣднее, т. е. поляризаціонный токъ, слабѣе перваго, т. е. тока, вызываемаго ударомъ, то выходило бы, что рядъ такихъ группъ въ суммѣ даетъ все-таки наростаніе силы ударовъ. Но кромѣ того не нужно забывать, что электротоническія движенія, о которыхъ здѣсь идетъ рѣчь, стоя въ тѣсной связи съ физіологическимъ возбужденіемъ нерва, во всякомъ случаѣ не тождественны съ послѣднимъ.

Мышца, какъ вамъ извѣстно, первичной внѣполюсной поляризаціи не представляетъ, слѣдовательно внѣ электродовъ и вторичной не бываетъ. Но между полюсами дѣйствующаго на мышцу тока замѣчается какъ та, такъ и другая. Въ этомъ отношеніи мышца не отличается однако отъ нитки, смоченной водой, куска мертвой кожи, стѣнки желудка, куска рѣпы, моркови и вообще отъ скважистыхъ тѣлъ, пропитанныхъ водяными растворами. Если въ самомъ дѣлѣ взять призматическій кусокъ моркови и пропускать чрезъ него постоянный токъ минутъ десять, потомъ положить его на концы мультипликатора, то всегда получается отклоненіе стрѣлки, указывающее на токъ въ моркови, противоположный по направленію первичному. Кромѣ того Кюне замѣтилъ въ межполюсномъ пространствѣ мышцы, на которую дѣйствуетъ постоянный токъ, механическое передвиженіе жидкости отъ положительнаго полюса къ отрицательному, вслѣдствіе чего конецъ мышцы около послѣдняго становится толще. Съ прекращеніемъ дѣйствія тока жидкость распредѣляется снова равномѣрно по всѣмъ точкамъ органа. И это явленіе, извѣстное въ физикѣ подъ

именемъ *порретовскаго*, свойственно не исключительно одной мышцѣ, а всѣмъ скважистымъ тѣламъ. Для насъ оно не представляетъ дальнѣйшаго интереса; но въ физіологіи мышцы фактъ этотъ имѣетъ важное значеніе: имъ, рядомъ съ другими, доказывается, что содержимое первичныхъ мышечныхъ волоконъ жидко; кромѣ того, онъ играетъ роль въ формѣ мышечнаго сокращенія.

Перерывистое раздраженіе мышцы и нерва, выражающееся отрицательнымъ колебаніемъ ихъ токовъ, оставляетъ по себѣ положительный слѣдъ въ электродинамическомъ отношеніи: ослабленіе электродвигательной дѣятельности органовъ, произведенное раздраженіемъ, продолжается нѣкоторое время и по прекращеніи послѣдняго. На опытѣ убѣдиться въ этомъ очень легко: нужно замѣтить постоянное отклоненіе стрѣлки предъ раздраженіемъ и во время раздраженія изслѣдуемой части. Величина перваго отклоненія возвращается по прекращеніи перерывистаго раздраженія не тотчасъ, а мало по малу.

Вотъ все, что я могъ сообщить объ электродинамическихъ измѣненіяхъ мышцы и нерва, послѣдующихъ за дѣйствіемъ на нихъ электрическаго тока въ различныхъ формахъ.

За тѣмъ мы приступимъ къ послѣднему отдѣлу нашего ученія, именно къ измѣненію нервной раздражительности подъ вліяніемъ электрическаго тока,—отдѣлу, носящему имя физіологіи нервнаго электротона.

XX.

Вліяніе постояннаго тока на нервную раздражительность — физіологія электротона. — Методъ изслѣдованія. — Фактическая сторона вопроса.

М. Г.

Мы начинаемъ новый и послѣдній отдѣлъ нашего ученія; будемъ изслѣдовать вліяніе постояннаго тока на нервную раздражительность. Но прежде, чѣмъ я приступлю къ изложенію относящихся сюда явленій, позвольте мнѣ сказать нѣсколько словъ объ отношеніи предстоящаго намъ изслѣдованія къ прочимъ отдѣламъ ученія о животномъ электричествѣ. Вы помните, что оконча-

тельная и, къ сожалѣнію, пока еще идеальная цѣль нашихъ стремленій есть разгадка сущности нервнаго возбужденія, или нервнаго начала, какъ говорили прежде. Съ этой мыслью мы обратились прежде всего къ такому свойству покоющагося нерва, которое могло бы служить точкою исхода для разъясненія нашего вопроса, — я разумѣю электродинамическую дѣятельность нерва. Отличаясь передъ всѣми другими свойствами этого органа подвижностью, она вела въ то же время къ пониманію молекулярнаго устройства нерва; а вы, конечно, согласитесь, что въ основѣ такого тонкаго процесса, какъ актъ нервнаго возбужденія, можетъ лежать лишь тонкій молекулярный механизмъ. Мы и разобрали электродинамическія явленія нерва при условіяхъ, когда органъ этотъ находится въ покоѣ. Плодомъ изученія былъ дѣйствительно намекъ на электро-молекулярное устройство нерва и убѣжденіе въ тѣсной связи этой организаціи съ такъ называемыми жизненными свойствами органа. Потомъ стали изслѣдовать тѣ же свойства при условіяхъ, когда нервъ переходитъ вообще отъ покоя къ дѣятельности. Здѣсь явилась, конечно, необходимость опредѣлить точно эти условія и потомъ уже изучать при нихъ электрическія свойства нерва. Мы такъ и сдѣлали, но не вполнѣ: до сихъ поръ оставался еще въ сторонѣ вопросъ, отличается ли поляризованный нервъ въ своей физіологической дѣятельности отъ нормальнаго, другими словами — какъ дѣйствуетъ постоянный токъ, приложенный къ нерву, на раздражительность послѣдняго? Этимъ вопросомъ мы и будемъ заниматься съ настоящей минуты, и, конечно, вы догадываетесь, что имъ рѣшается собственно вопросъ о связи явленій нервнаго электротона съ нервною раздражительностью. Оттого отдѣлъ этотъ и носитъ, по справедливости, имя физіологіи электротона,—названіе, данное ему Пфлюгеромъ, который сдѣлалъ для вопроса почти все.

Итакъ мы будемъ заниматься вліяніемъ постояннаго тока на нервную раздражительность. Планъ изслѣдованія ясенъ: будемъ прикладывать въ двухъ точкахъ по длинѣ нерва постоянный токъ то въ восходящемъ, то въ нисходящемъ направленіи, и каждый разъ судить объ измѣненіи раздражительности въ всѣхъ точкахъ нервнаго отрѣзка по величинѣ мышечнаго сокращенія. Это уже предполагаетъ, что рядомъ съ постояннымъ токомъ на нервъ нужно будетъ дѣйствовать въ различныхъ точкахъ по длинѣ его от-

дѣльными электрическими ударами или другимъ какимъ раздражителемъ. Кромѣ того необходимо, чтобы по крайней мѣрѣ въ двухъ сравниваемыхъ между собою опытахъ какъ сила постояннаго (поляризующаго) тока, такъ и величина раздраженія оставались одинаковы. Еще лучше, конечно, если методъ изслѣдованія заключаетъ въ себѣ условія постоянства этихъ величинъ на бо̀льшее число сравниваемыхъ опытовъ. Методъ Пфлюгера удовлетворяетъ и послѣднимъ требованіямъ. Постоянства силы поляризующаго тока онъ достигаетъ тѣмъ, что электродвигателемъ употребляетъ элементъ Грове съ тщательно амальгамированнымъ цинкомъ и дымящейся азотной кислотой; концы электродовъ употребляетъ такіе, которые не даютъ поляризаціи (можно употреблять слѣдовательно извѣстные вамъ цинковые); въ цѣпь постояннаго тока вводитъ реохордъ, которымъ компенсируются колебанія силы его, а для открытія послѣднихъ служитъ гальванометръ, находящійся въ той же цѣпи. Раздражителемъ у него служитъ замыкательный или размыкательный индукціонный ударъ вторичной спирали, идущій по нерву или въ восходящемъ, или въ нисходящемъ направленіи. Чтобы сила этихъ ударовъ оставалась одинаковой, въ цѣпь первичной спирали онъ вводитъ такую же постоянную батарею, какъ въ поляризующемъ токѣ; но сверхъ того еще аппаратъ, дающій возможность замыкать и размыкать токъ всегда съ одинаковой скоростью. Послѣднее обстоятельство значительно вліяетъ, какъ вы знаете, на силу индукціонныхъ ударовъ. Аппаратъ, устроенный Пфлюгеромъ, мы назовемъ электромагнитнымъ замыкателемъ и размыкателемъ тока.

Устройство его слѣдующее: на деревянной доскѣ, служащей основаніемъ аппарату, укрѣплены параллельно другъ другу двѣ горизонтально вращающіяся металлическія оси *bc* и *xy* (фиг. 58). Обѣ изолированы отъ доски, но находятся въ металлической связи: первая съ винтомъ *e*, вторая съ винтомъ *c'*, которыя могутъ быть соединены съ приводами батареи. Кромѣ того, къ первой оси прикрѣпленъ металлическій молотокъ, съ головкой *i* изъ мягкаго желѣза и привинченнымъ къ послѣдней крючкомъ *k* изъ стали. Вторая же ось несетъ горизонтальную металлическую полоску, которой конецъ *z* снабженъ снизу металлическимъ отросткомъ *a'*, опирающимся на пластинку *d'*, связанную металлически съ *e'*. Чтобы соприкосновеніе между *a'* и *d'* было интимно, конецъ пла-

стинки yz, противоположный z, приподнятъ стальною пружиною кверху. Рядомъ съ осью xy укрѣплены на основной доскѣ стальной стаканчикъ f', наполняемый ртутью, и винтъ g, связанные между собою металлически, но изолированные отъ основной доски. Послѣдняя несетъ, сверхъ того, два устоя pp, по которымъ можетъ двигаться сверху внизъ и быть укрѣпляема въ любомъ положеніи винтами ss мѣдная, а подъ нею желѣзная перекладина qt, связанная съ двумя цилиндрами изъ мягкаго желѣза, обвитыми мѣдной проволокой. Концы послѣдней могутъ быть связаны съ полюсами гальванической батареи. Тогда utu дѣлается, конечно, магнитомъ, и если головка молотка i приведена съ нимъ въ соприкосновеніе, какъ показано на фигурѣ, то она притягивается имъ и держится въ данномъ положеніи все время, пока токъ элемента A вращается по спиралямъ uu. Если токъ прерывается, то молотокъ тотчасъ же падаетъ и при этомъ происходитъ съ одной стороны погруженіе крючка k въ ртуть стаканчика f', съ другой приподниманіе z кверху, чрезъ что металлическое соприкосновеніе между a' и d' прерывается. Слѣдовательно при паденіи молотка съ одной стороны, точки e и g', бывшія до того разъединенными, приходятъ въ металлическую связь; съ другой — связь прерывается между точками c' и e'. Теперь, конечно, смыслъ аппарата ясенъ: когда онъ введенъ въ цѣпь первичной спирали точками e и g' и молотокъ поднятъ кверху, то паденіемъ молотка цѣпь эта замыкается; если же введены въ нее точки c' и e', то паденіе производитъ размыканіе тока. И такъ, какъ высота поднятія молотка можетъ оставаться постоянной, то и скорость его паденія, т. е. быстрота замыканія или размыканія, остается одинаковой. Для избѣжанія эластическихъ подпрыгиваній молотка послѣ паденія его головки на пластинку yz существуетъ особенный механизмъ на основной доскѣ и рукояткѣ молотка h и m'. Его я не описываю, потому что передать словами его устройство трудно, а между тѣмъ значеніе его именно въ данной формѣ не важно.

Чтобы покончить съ методомъ изслѣдованія, мнѣ остается сказать теперь нѣсколько словъ объ устройствѣ реохорда и о томъ, какимъ образомъ онъ вводится въ цѣпь поляризующаго тока.

На деревянной доскѣ (фиг. 59) натянуто параллельно и въ разстояніи 2-хъ центим. одна отъ другой восемь тонкихъ проволокъ

изъ нейзильбера, длиною въ 1 метръ каждая. Всѣ онѣ изолированы отъ доски и другъ отъ друга. Высота стоянія проволокъ надъ доскою 1—2 центим. Подъ ними двигается по доскѣ семь шашекъ, которыя служатъ для металлическаго соединенія всѣхъ отдѣльныхъ проволокъ въ одну общую, притомъ очень разнообразной длины. Съ этой цѣлью верхняя поверхность шашекъ, которою онѣ касаются съ проволоками, металлическая, самыя же шашки сдѣланы изъ дерева для изолированія ихъ отъ доски *A*. Для полнѣйшей изоляціи металлическихъ поверхностей, подъ нихъ не худо подложить пластинки изъ слоновой кости. Вообразите себѣ, что приводы батареи сообщены съ точками *m* и *n* и всѣ шашки придвинуты какъ можно ближе къ этимъ точкамъ. Ясно, что тогда путь электрическому току самый короткій, слѣдовательно препятствіе, представляемое реохордомъ, наименьшее. Напротивъ, когда всѣ шашки отодвинуты къ противоположному концу доски, токъ долженъ пройдти по длинѣ всѣхъ проволокъ; тогда препятствіе, представляемое реохордомъ, наибольшее. Стало быть, передвигая шашки между этими крайними предѣлами, можно получить чрезвычайно разнообразныя величины препятствій между maximum и minimum. Величины наименьшихъ препятствій можно разнообразить еще тѣмъ, что приводы батареи могутъ быть сообщаемы не только съ точками *m* и *n*, но и съ какими угодно концами двухъ проволокъ со стороны *m n*. Теперь посмотримъ, какъ удобнѣе ввести этотъ инструментъ въ цѣпь поляризующаго тока.

Можно, конечно, и прямо и какъ побочное замыканіе. Въ первомъ случаѣ разнообразить силу поляризующаго тока отъ нуля до наибольшей величины можно было бы однако только при очень длинной проволокѣ реохорда. Въ противномъ случаѣ, слабые токи на нервъ можно получить лишь тогда, когда инструментъ этотъ введенъ какъ побочное замыканіе. Пфлюгеръ такъ и дѣлалъ. Кромѣ того, для удобства опытовъ въ цѣпь поляризующаго тока онъ вводилъ извращателя тока.

Такимъ образомъ опыты его имѣли слѣдующую шематическую форму (фиг. 60). Проводы поляризующаго тока связывались въ точкахъ *m* и *n* съ реохордомъ *R*. Отсюда шли къ извращателю тока *Q*. Въ дальнѣйшее продолженіе цѣпи поляризующаго тока былъ введенъ мультипликаторъ, на столько чувствительный, что-

бы могъ показывать присутствіе мышечныхъ токовъ, а чашечка съ ртутью для замыканія и размыканія тока. Когда шашки реохорда приближены по возможности къ *m n*, тогда вѣтвь тока, идущая черезъ нервъ, почти=0; съ удаленіемъ же шашекъ отъ *mn* сила ея возрастаетъ. ***В*** представляетъ первичную спираль. Она приводится въ дѣйствіе гальваническимъ элементомъ *A*, въ цѣпь котораго введенъ электро-магнитный замыкатель и размыкатель тока. *C* — вторичная спираль; ея концы связаны съ цинковыми электродами, лежащими на нервѣ. Мышца (gastrocnemius лягушки) связывается сухожиліемъ ***M*** съ міографомъ Пфлюгера. Какимъ образомъ приготовляется для этихъ опытовъ движущій аппаратъ, было уже описано выше. При описаніи міографія Пфлюгера было уже упомянуто, какимъ образомъ можно придѣлать къ нему пару цинковыхъ электродовъ; стало быть понятно, какимъ образомъ придать и вторую. Опытъ начинается при возможно слабомъ поляризующемъ и раздражающемъ токѣ. Для этого шашки придвинуты близко къ *m n* и вторичная спираль на столько отодвинута отъ первичной, что въ мышцѣ получается едва замѣтное сокращеніе безъ дѣйствія на нервъ поляризующаго тока. Когда величина этого сокращенія уже отмѣчена на стеклянной пластинкѣ міографа, то замыкаютъ цѣпь постояннаго тока и нерву сообщаютъ новый индукціонный ударъ. Полученную величину сокращенія сравниваютъ съ первою.

Описавши такимъ образомъ методъ изслѣдованія, условимся въ принятой здѣсь номенклатурѣ. Черезъ это значительно облегчится трудъ словеснаго описанія относящихся сюда явленій. Постоянный токъ называется поляризующимъ, индукціонный раздражающимъ; часть нерва, заключенная между электродами перваго, — межполюсною; пространство же внѣ ихъ носитъ названіе внѣполюснаго. Измѣненіе раздражительности около положительнаго полюса — анода — батареи называется анэлектротономъ; около отрицательнаго — катода — катэлектротономъ. Слѣдовательно какъ анэлектротонъ, такъ и катэлектротонъ, могутъ быть внѣ- и межполюсные. Кромѣ того, смотря по направленію поляризующаго тока относительно центральнаго и периферическаго конца нерва, какъ анэлектротонъ, такъ и катэлектротонъ могутъ быть восходящимъ и нисходящимъ. Первое въ томъ случаѣ, если самъ поляризующій токъ имѣетъ восходящее направленіе, другое — при противномъ условіи.

Приступимъ теперь къ фактической сторонѣ вопроса. Начнемъ съ слабыхъ поляризующихъ токовъ и слабыхъ индукціонныхъ ударовъ. Сумма измѣненій, представляемыхъ при этомъ условіи нервомъ со стороны его раздражительности, можетъ быть резюмирована такъ: внѣ полюсовъ поляризующаго тока раздражительность возвышена около катода, понижена около анода; измѣненіе это не зависитъ отъ направленія поляризующаго тока; но съ удаленіемъ отъ мѣста приложенія послѣдняго къ нерву оно абсолютно уменьшается по величинѣ, такъ что съ постепеннымъ удаленіемъ отъ отрицательнаго полюса повышеніе раздражительности дѣлается $= 0$, а съ удаленіемъ отъ положительнаго тоже дѣлается съ пониженіемъ раздражительности.

Провѣримъ эти результаты на опытѣ.

Первый случай (фиг. 61). Поляризующій токъ лежитъ ближе къ центру, раздражающій ближе къ мышцѣ. Цѣпь перваго разомкнута. Нахожу minimum сокращенія при размыкательномъ индукціонномъ ударѣ, идущемъ по нерву въ восходящемъ направленіи. Замыкаю поляризующій токъ въ томъ же направленіи и новый индукціонный ударъ нерву: сокращенія, какъ видите, нѣтъ. Измѣняю направленіе поляризующаго тока и снова ударъ въ восходящемъ направленіи: — сокращеніе значительно усилилось противъ прежняго. Остановимся и разберемъ явленія. Когда поляризующій и раздражающій токи оба имѣли восходящее направленіе, то послѣдній лежалъ около положительнаго полюса перваго. Электротоническое движеніе, вызываемое въ нервѣ обоими токами, суммировалось между собою ариѳметически, слѣдовательно наростало, а между тѣмъ сокращенія все-таки не было. Когда, напротивъ, направленіе поляризующаго тока измѣнилось, то сокращеніе выросло, не смотря на то, что здѣсь электротоническое движеніе должно было ослабляться по причинѣ противоположнаго направленія обоихъ токовъ. Отсюда родится сама по себѣ чрезвычайно невѣроятная, но все-таки требующая рѣшенія, мысль, не стоитъ ли измѣненіе раздражительности въ связи съ отношеніемъ направленій поляризующаго и раздражающаго токовъ. Рѣшеніе очень просто: если бы предположеніе было справедливо, тогда выходило бы, что усиленіе раздражительности бываетъ при противоположныхъ направленіяхъ токовъ, ослабленіе—наоборотъ. Возьмемъ же поляризующій токъ въ восходящемъ направленіи, а индукціонный

въ обратномъ. Сокращеніе не только не усилилось, но и ослабѣло (раздражающій токъ лежитъ опять около положительнаго полюса). Замыкаю постоянный и раздражающій токъ въ нисходящемъ направленіи,—получается не ослабленіе, а усиленіе раздражительности; раздражающій токъ лежитъ около отрицательнаго полюса поляризующаго. И такъ послѣднее предположеніе несправедливо, результатъ же, высказанный предъ опытами, подтверждается.

Второй случай (фиг. 62). Поляризующій токъ лежитъ ближе къ мышцѣ, чѣмъ раздражающій. И здѣсь, при какомъ угодно направленіи послѣдняго, усиленіе раздражительности получается въ тѣхъ случаяхъ, когда поляризующій токъ замкнутъ въ восходящемъ направленіи; при противномъ условіи — всегда ослабленіе. Другими словами, когда раздраженіе находится около отрицательнаго полюса поляризующаго тока, то сокращеніе усилено; въ противномъ случаѣ — ослаблено. Слѣдовательно вообще для слабыхъ поляризующихъ токовъ законность въ измѣненіи нервной раздражительности, высказанная нами предъ описаніемъ опытовъ, справедлива. Пфлюгеръ подтвердилъ ее еще другимъ рядомъ опытовъ, гдѣ модифицировалъ или форму раздражителя, или форму поляризующаго тока. Такъ, вмѣсто размыкательныхъ индукціонныхъ ударовъ онъ дѣйствовалъ на нервъ замыкательными, или же раздражалъ этотъ органъ химически — крѣпкимъ воднымъ растворомъ поваренной соли. При послѣднемъ способѣ раздраженія нужно обыкновенно ждать минутъ 5, прежде чѣмъ начнутся подергиванія мышцы; тогда замыканіе поляризующаго тока въ такомъ направленіи, чтобы къ мѣсту раздраженія былъ обращенъ отрицательный полюсъ, производитъ мышечный столбнякъ; въ противоположномъ, напротивъ, успокоиваетъ сокращавшуюся мышцу. Какъ поляризующій токъ, онъ бралъ мышечный или нервный (фиг. 63 и 64) и получалъ даже при послѣднемъ условіи усиленіе раздражительности около отрицательнаго полюса (поперечнаго разрѣза) и ослабленіе около положительнаго (продольной поверхности).

Теперь остается еще показать, что наростаніе и ослабленіе раздражительности идутъ, абсолютно уменьшаясь въ величинѣ, съ удаленіемъ отъ полюсовъ поляризующаго тока. Здѣсь приходится передвигать мѣсто раздраженія по длинѣ нерва, и потому нужно постоянно имѣть въ виду, что уже независимо отъ поляризаціи органъ этотъ въ различныхъ точкахъ представляетъ различную

раздражительность, наростающую вообще отъ периферическаго конца къ центральному. Чтобы показать вамъ, какимъ образомъ Пфлюгеръ, доказывая новую сторону электротоническихъ явленій, устраняетъ это вліяніе и употребляетъ его иногда даже съ пользою для своихъ доказательствъ, я приведу примѣры.

Положимъ, поляризующій токъ лежитъ отъ мышцы дальше раздражающаго и имѣетъ восходящее направленіе (фиг. 65). Тогда отодвиганіемъ раздражающаго тока отъ положительнаго полюса къ мышцѣ раздражаются постепенно точки менѣе и менѣе чувствительныя при нормальныхъ условіяхъ нерва. Теперь же, при восходящей поляризаціи, это приближеніе электродовъ къ мышцѣ ведетъ сначала къ усиленію сокращенія и потомъ уже величина послѣдняго снова вачинаетъ уменьшаться. Отсюда слѣдуетъ a fortiori, что съ удаленіемъ отъ положительнаго полюса раздражительность постепенно возрастаетъ, пока не достигнетъ нормальной величины.

Когда поляризующій и раздражающій токи лежатъ относительно мышцы по прежнему, но первый имѣетъ нисходящее направленіе, то Пфлюгеръ оставляетъ неподвижнымъ раздражающій токъ, а отодвигаетъ постепенно къ центру поляризующій. При этомъ мѣсто раздраженія остается постояннымъ. Уменьшеніе же величины сокращеній ясно показываетъ, что раздражительность съ удаленіемъ отъ катода ослабѣваетъ (фиг. 66).

Разбирать, какъ слѣдуетъ передвигать электроды при другомъ положеніи токовъ относительно мышцы, кажется, нечего. Изъ приведенныхъ примѣровъ пріемы эти должны быть для всякаго ясны. И такъ и вторая часть общаго положенія, высказаннаго предъ опытами, справедлива. Такимъ образомъ мы имѣемъ новое подтвержденіе того, что въ основѣ измѣненія нервной раздражительности подъ вліяніемъ постояннаго тока лежитъ дѣйствительно поляризація нерва. Вы помните, въ самомъ дѣлѣ, что явленія электротона значительно ослабѣваютъ съ удаленіемъ отъ электродовъ поляризующаго тока; то же самое имѣетъ, какъ видите, мѣсто и относительно измѣненій раздражительности. Кромѣ того оказывается, что величина мышечнаго сокращенія представляетъ болѣе чувствительный реактивъ на поляризацію нерва, чѣмъ стрѣлка мультипликатора: послѣдняя не двигается, если поляризовать

нервъ такимъ слабымъ токомъ, какъ нервный, а величина сокращенія при этомъ условіи измѣняется.

XXI.

Вліяніе величины межполюснаго пространства и силы поляризующаго тока на степень измѣненія нервной раздражительности. — Измѣненія послѣдней въ межполюсномъ пространствѣ. — Послѣдовательныя измѣненія раздражительности поляризованнаго нерва. — Параллель между движеніемъ поляризаціи и возбужденія по нерву.

М. Г.

Подъ конецъ прошлой лекціи проведена была параллель между явленіями поляризаціи нерва и измѣненіемъ его раздражительности. Сегодня эта параллель выступитъ передъ вашими глазами еще ярче, когда будетъ доказано, что всѣ условія, усиливающія поляризацію, дѣйствуютъ точно такъ же и на измѣненія раздражительности. Возьмемъ, напримѣръ, увеличеніе межполюснаго пространства. Изъ лекцій о нервномъ электротонѣ вы помните, что при этомъ условіи электрическое измѣненіе нерва хотя и усиливается, но прямымъ опытомъ получить этого эффекта нельзя, по причинѣ ослабленія силы поляризующаго тока съ увеличеніемъ межполюснаго пространства. Здѣсь же эффектъ получается безъ всякихъ побочныхъ уловокъ: стоитъ только отодвинуть одинъ электродъ поляризующаго тока отъ другаго. Отодвигать же, конечно, нужно всегда тотъ, который лежитъ дальше отъ раздражающаго тока, иначе въ явленіе вмѣшивалось бы измѣненіе разстоянія между электродами постояннаго и индукціоннаго токовъ. И такъ, кромѣ новой аналогіи между явленіями поляризаціи нерва и измѣненіемъ его раздражительности, вы имѣете новое доказательство, что поляризація рѣзче выражается величиною мышечнаго сокращенія, чѣмъ отклоненіемъ магнитной стрѣлки.

Обращаюсь теперь къ вліянію силы поляризующаго тока.

Первый случай (фиг. 67). Поляризующій токъ дальше отъ мышцы, чѣмъ раздражающій. Эффектъ усиленія перваго можетъ быть вообще выраженъ такъ: какъ усиленіе раздражительности близъ катода, такъ и ослабленіе около анода абсолютно увеличиваются,

Кромѣ того, сфера внѣполюсныхъ измѣненій раздражительности расширяется, т. е. они становятся ощутительными на бо̀льшемъ противу прежняго разстояніи отъ электродовъ поляризующаго тока. Показать все это на опытѣ чрезвычайно легко. Если поляризующій токъ имѣетъ нисходящее направленіе, то достаточно, какъ видите, самаго слабаго индукціоннаго удара, чтобы получить чуть не *maximum* мышечнаго сокращенія. Двигайте электроды раздражающаго тока къ мышцѣ, и вы увидите, что во всѣхъ точкахъ раздражительность повышена противъ нормальной. Если, наоборотъ, поляризующій токъ имѣетъ восходящее направленіе по нерву, то сравнительно сильные индукціонные удары близъ положительнаго полюса остаются безъ дѣйствія. Когда поляризующій токъ приложенъ къ нерву въ восходящемъ направленіи близъ самой мышцы, то можно доказать опытомъ, что поляризующее вліяніе его распространяется и на внутре-мышечныя вѣтви. Вотъ форма этого замѣчательнаго опыта. На стеклянную пластинку наклеены двѣ амальгамированныя цинковыя *aa* (фиг. 68) въ разстояніи примѣрно 4 центим. другъ отъ друга. Пластинки эти покрываются подушками, смоченными цинковымъ купоросомъ, а сверху бѣлочными съ стеклушками. По срединѣ между цинковыми пластинками кладутъ подушку *b*, смоченную цинковымъ растворомъ, съ бѣлочною покрышкой и стеклушками. Препаруются обѣ икряныя мышцы лягушки, но одна съ нервомъ, другая безъ него, и кладутся на *aba* одинаковыми поверхностями и соотвѣтствующими концами въ одну сторону. Нервъ одной изъ мышцъ кладется на электроды сильной батареи (по крайней мѣрѣ 4-хъ большихъ элементовъ Даніэля), которая въ началѣ опыта не замкнута. Цинковыя пластинки *aa* связаны съ концами вторичной спирали индукціоннаго аппарата. Находятъ наименьшую силу индукціоннаго удара, при которой обѣ мышцы начинаютъ сокращаться, и замѣчаютъ положеніе второй спирали относительно первичной. Потомъ замыкаютъ цѣпь постояннаго тока и сообщаютъ мышцамъ новый ударъ. Лишенная нерва сокращается по прежнему; та же, которой нервъ поляризуется восходящимъ токомъ—молчитъ. Нужно довольно значительно противъ прежняго приблизить вторую спираль къ первой, чтобы и въ послѣдней мышцѣ снова появилось сокращеніе. Но тогда въ ней оно едва замѣтно, а въ другой дѣлается уже очень сильнымъ. Вы знаете, съ одной стороны, что

нервъ раздражительнѣе мышцы, съ другой вамъ извѣстно, что въ прямомъ возбужденіи послѣдняго органа играетъ, конечно, роль и возбужденіе вѣтвящихся въ немъ нервовъ; слѣдовательно смыслъ опыта ясенъ. Онъ показываетъ, что воспріимчивость внутре-мышечныхъ нервныхъ вѣтвей въ мышцѣ, которой нервъ поляризуется восходящимъ токомъ, значительно понижена. Кюне думаетъ даже, что усиленіемъ поляризующаго тока можно совершенно парализовать внутре мышечныя нервныя вѣтви. Онъ допускаетъ in musculo sartorio лягушки мѣста, лишенныя нервовъ, опредѣляетъ степень ихъ раздражительности, поляризуетъ сильнымъ восходящимъ токомъ мышечный нервъ, сравниваетъ раздражительность мѣстъ мышцы, богатыхъ нервами, съ раздражительностью тѣхъ, которыя вовсе лишены послѣднихъ, и находитъ ихъ равными. Отсюда, конечно, логически слѣдуетъ полный параличъ внутре-мышечныхъ вѣтвей; но мнѣніе Кюне требуетъ еще на столько доказательствъ, на сколько мѣста въ мышцѣ, лишенныя нервовъ, представляютъ гипотезу. Во всякомъ же случаѣ, онъ доказалъ строгими опытами, что параличъ внутре-мышечныхъ нервовъ отъ восходящаго тока сильнѣе, чѣмъ при отравленіи животнаго кураре. На этомъ основаніи въ XII лекціи и было замѣчено, что наука имѣетъ фактора болѣе могучаго, чѣмъ американскій стрѣловой ядъ, для физіологическаго изолированія мышечной ткани отъ распространенныхъ въ ней нервовъ.

Разберемъ теперь второй случай, когда поляризующій токъ находится къ мышцѣ ближе, чѣмъ раздражающій (фиг. 69). При нисходящемъ направленіи перваго раздраженіе лежитъ около анода, и потому получается, какъ видите, ослабленіе мышечнаго сокращенія. Нетрудно показать, что оно тѣмъ сильнѣе и занимаетъ тѣмъ больше пространства, чѣмъ сильнѣе поляризующій токъ. Слѣдовательно эффектъ остается въ сущности тѣмъ же, что и при слабой поляризаціи нерва. Но если постоянный токъ силенъ и имѣетъ восходящее направленіе, то получается не усиленіе раздражительности, какъ слѣдовало бы ожидать, а, напротивъ, ослабленіе ея. Раздраженіе лежитъ тогда, въ самомъ дѣлѣ, около катода. Это явное противорѣчіе законности, выведенной нами для слабыхъ токовъ, объясняется однако тѣмъ, что раздраженіе на пути отъ отрицательнаго полюса постояннаго тока къ мышцѣ должно пройдти черезъ точки нерва, лежащія около анода, которыхъ

воспріимчивость къ раздраженію при сильномъ токѣ почти уничтожена. Слѣдовательно и здѣсь можно допустить, что около катода раздражительность собственно возвышена, но этого нельзя замѣтить, потому что раздраженію приходится проходить чрезъ парализованныя точки нерва [1]).

Такимъ образомъ, резюмируя все до сихъ поръ сказанное объ измѣненіи нервной раздражительности подъ вліяніемъ постояннаго тока, получимъ, что при поляризаціи нервъ распадается на двѣ половины съ противоположными измѣненіями раздражительности: около положительнаго полюса она понижена, около отрицательнаго повышена. Такое измѣненіе относится однако только къ точкамъ нерва, лежащимъ внѣ электродовъ поляризующаго тока. О томъ, что дѣлается съ раздражительностью точекъ межполюснаго пространства, до сихъ поръ еще не было рѣчи, и потому мы приступимъ теперь къ этому вопросу.

Всякій согласится, конечно, что a priori всего естественнѣе предполагать точно такое же измѣненіе раздражительности въ межполюсномъ пространствѣ, какое найдено внѣ электродовъ поляризующаго тока, т. е. повышеніе ея около катода и ослабленіе около анода. Тогда оба противоположныя измѣненія межполюснаго пространства должны были бы сходиться между собою въ индифферентной точкѣ и на сцену выступилъ бы новый важный вопросъ о положеніи послѣдней относительно электродовъ поляризующаго тока при различныхъ условіяхъ, т. е. когда точка эта лежитъ по срединѣ, дальше или ближе къ тому или другому полюсу постояннаго тока. Всѣ эти вопросы рѣшены Пфлюгеромъ. Онъ изслѣдовалъ какъ раздражительность въ отдѣльныхъ точкахъ межполюснаго пространства, такъ и общую раздражительность послѣдняго при поляризующихъ токахъ различной силы. Въ опытахъ перваго рода употреблялось химическое раздраженіе поваренною солью, и для межполюснаго пространства дѣйствительно найдены тѣ же измѣненія раздражительности, какія описаны для частей нерва, лежащихъ внѣ электродовъ поляризующаго тока, т. е. повышеніе ея около катода и ослабленіе около анода. Кромѣ того онъ замѣтилъ,

---

[1]) Когда будемъ говорить объ общемъ измѣненіи раздражительности въ межполюсномъ пространствѣ, тогда эта мысль будетъ фактически доказана.

что при слабыхъ токахъ сфера межполюснаго катэлектротона значительно превышаетъ сферу анэлектротона; индифферентная точка лежитъ слѣдовательно ближе къ положительному полюсу. Съ усиленіемъ же поляризующаго тока она быстро подвигается къ отрицательному, такъ что при сильныхъ токахъ межполюсный катэлектротонъ открыть очень трудно. Описывать форму опытовъ нечего—она понятна сама собою; слѣдуетъ лишь сказать, почему при нихъ Пфлюгеръ принужденъ былъ употреблять одно химическое раздраженіе. Это потому, что здѣсь, по самому смыслу опытовъ, нужно было раздражать нервъ на возможно меньшемъ пространствѣ, чтобы послѣднее приближалось, такъ сказать, къ величинѣ точки, а при электрическомъ раздраженіи вслѣдствіе вѣтвленія тока отъ электродовъ въ стороны достичь этого невозможно. Да и при химическомъ раздраженіи условіе это выполняется на столько несовершенно, что результаты Пфлюгера можно получить лишь при посредствѣ очень большаго числа опытовъ. Оттого опыты эти принадлежатъ къ числу кабинетныхъ. Для изслѣдованія общей раздражительности всего межполюснаго пространства, Пфлюгеръ поступалъ слѣдующимъ образомъ: въ цѣпь поляризующаго тока *P* (фиг. 70) вводилась, сверхъ коммутатора, реохорда и мультипликатора, вторичная спираль *S*. Въ цѣпь же первичной *R* были введены электромагнитный замыкатель и размыкатель тока *Q*. Поляризующій токъ замыкался и размыкался въ точкѣ *a*. Сначала нерву сообщался индукціонный ударъ при открытой цѣпи *P*; потомъ другой ударъ при замыканіи ея въ *a*. При слабомъ поляризующемъ токѣ, каково бы ни было его направленіе въ нервѣ относительно индукціоннаго, всегда получалось наростаніе величины мышечнаго сокращенія. Съ усиленіемъ тока это наростаніе дѣлалось меньше и наконецъ переходило въ отрицательную величину, т. е. мышечное сокращеніе ослабѣвало, или вовсе исчезало. Результатъ этотъ совершенно согласенъ съ тѣмъ, что было сказано относительно измѣненія раздражительности въ отдѣльныхъ точкахъ межполюснаго пространства: катэлектротоническое измѣненіе нерва превосходитъ анэлектротоническое при слабыхъ поляризующихъ токахъ, при сильныхъ же бываетъ наоборотъ. Въ этомъ и лежитъ разгадка, почему при сильной восходящей поляризаціи нерва раздраженіе около отрицательнаго полюса недѣйствительно.

Теперь мы имѣемъ право сказать, что распаденіе нерва подъ вліяніемъ постояннаго тока на двѣ половины съ противоположными измѣненіями раздражительности относится не только къ частямъ этого органа, лежащимъ внѣ полюсовъ поляризующаго тока, но ко всѣмъ точкамъ по длинѣ нерва. Такимъ образомъ, если принять длину нерва за абсциссу (фиг. 71), въ точкахъ *A* и *B* приложить къ нему электроды поляризующаго тока и за ординаты принять величины мышечнаго сокращенія при рездраженіи болѣе или менѣе сильно поляризованнаго нерва въ различныхъ точкахъ его длины, то кривыми $y_1y_1y_1y_1$, $y_2y_2y_2y_2$ и $y_3y_3y_3y_3$ выразятся измѣненія раздражительности по всей длинѣ нерва. Первая соотвѣтствуетъ слабой поляризаціи, индифферентная точка ея x_1 лежитъ ближе къ положительному полюсу, чѣмъ къ отрицательному. Вторая кривая соотвѣтствуетъ току средней силы. Сфера внѣполюсныхъ измѣненій стала уже шире, чѣмъ въ первомъ случаѣ; x_2 подвинулся отъ анода къ катоду. Кривая $y_3y_3y_3y_3$ соотвѣтствуетъ измѣненію нерва сильнымъ постояннымъ токомъ. X_3 лежитъ близъ отрицательнаго полюса; самыя ординаты выше, чѣмъ въ прочихъ кривыхъ.

Здѣсь можно было бы остановиться и приступить къ выводамъ изъ собранныхъ доселѣ фактовъ; но ради бо̀льшей округленности заключеній, я позволяю еще описать послѣдовательныя измѣненія раздражительности нерва за дѣйствіемъ на него постояннаго тока. Сумма относящихся сюда явленій можетъ быть резюмирована такимъ образомъ: вслѣдъ за прекращеніемъ поляризаціи нервъ представляетъ измѣненіе раздражительности противоположное тому, которое существовало во время дѣйствія на него постояннаго тока: около катода раздражительность понижена, около анода повышена. Первое, т. е. катэлектротоническое, послѣдовательное измѣненіе длится однако чрезвычайно мало времени (нѣсколько секундъ) и снова переходитъ въ повышеніе раздражительности; поэтому его безъ особенныхъ уловокъ прослѣдить трудно; повышеніе же раздражительности около анода продолжается минуты и легко доступно изслѣдованію. Какъ то, такъ и другое измѣненіе выражено тѣмъ рѣзче, чѣмъ сильнѣе и продолжительнѣе была поляризація. Въ послѣднемъ отношеніи существуетъ, какъ видите, совершенная параллель между описываемыми явленіями и послѣдовательными электротоническими измѣненіями нерва; въ обоихъ случаяхъ продолжительность дѣйствія поляризующаго тока игра-

етъ важную роль въ силѣ явленій. Это условіе вліяетъ вѣроятно и на непосредственныя измѣненія поляризованнаго нерва; но вопросъ этотъ до сихъ поръ еще мало разработанъ. Послѣдовательныя измѣненія нервной раздражительности, подобно первичнымъ, выражены всего рѣзче около полюсовъ постояннаго тока; съ удаленіемъ отъ послѣднихъ они ослабѣваютъ.

Опыты, которыми подтверждаются всѣ эти явленія, остаются по формѣ совершенно такими же, какъ при изслѣдованіи непосредственныхъ измѣненій нервной раздражительности подъ вліяніемъ постояннаго тока. Разница, разумѣется, лишь въ томъ, что здѣсь нервъ раздражается прежде всего предъ замкнутіемъ постояннаго тока, потомъ вслѣдъ за разомкнутіемъ его; притомъ когда хотятъ опредѣлить послѣдовательныя измѣненія около катода, то нужно стараться раздражать нервъ какъ можно быстрѣе за прекращеніемъ поляризаціи. При дѣйствіи на нервъ слабыми постоянными токами, которыхъ размыканіе не даетъ (на свѣжихъ нервахъ) мышечнаго сокращенія, Пфлюгеръ достигалъ этого тѣмъ, что намагничивалъ спирали электро-магнитнаго замыкателя вѣтвью самаго поляризующаго тока, такъ что между размыканіемъ послѣдняго и дѣйствіемъ индукціоннаго удара на нервъ протекало лишь время, необходимое для размагничиванія спиралей и паденія молотка съ данной высоты. Что касается до послѣдовательныхъ измѣненій нервной раздражительности въ межполюсномъ пространствѣ, то здѣсь слѣдовало ожидать мгновеннаго пониженія ея вслѣдъ за дѣйствіемъ слабыхъ поляризующихъ токовъ, когда катэлектротоническое измѣненіе превышаетъ анэлектротоническое, и за тѣмъ снова повышеніе раздражительности; за дѣйствіемъ же токовъ средней силы и сильныхъ должно было непосредственно являться усиленіе раздражительности. Опыты Пфлюгера, которыхъ форма вамъ, конечно, понятна, подтвердили и эти ожиданія.

Вотъ сумма фактовъ, добытыхъ Пфлюгеромъ. Представляя матеріалъ неразнообразный по содержанію, факты эти однако очень богаты послѣдствіями. Они устанавливаютъ, въ самомъ дѣлѣ, связь между поляризаціей нерва и его физіологическимъ свойствомъ — раздражительностью; при посредствѣ ихъ самое понятіе о нервной раздражительности принимаетъ болѣе опредѣленную форму. Факты эти открываютъ наконецъ новый рядъ вопросовъ о сущности молекулярныхъ измѣненій нерва около анода и катода поляри-

зующаго тока—вопросовъ, съ рѣшеніемъ которыхъ связана разгадка сущности электрическаго возбужденія нерва Мы и займемся теперь разсмотрѣніемъ всѣхъ этихъ вопросовъ.

Начнемъ съ связи между поляризаціей и измѣненіемъ нервной раздражительности. Вы уже знаете, какая полная аналогія существуетъ между обоими рядами явленій со стороны ихъ условій [1]). Мнѣ остается показать здѣсь аналогію между движеніемъ электротоническихъ измѣненій и раздраженія по длинѣ поляризованнаго нерва. Вы помните, что при слабой поляризаціи нерва между мышцей и мѣстомъ раздраженія получается или усиленіе, или ослабленіе мышечнаго сокращенія, смотря по тому, имѣетъ ли постоянный токъ восходящее или нисходящее направленіе по нерву; если же послѣдній силенъ, то величина мышечнаго сокращенія во всякомъ случаѣ уменьшается; другими словами, слабое анэлектротоническое измѣненіе затрудняетъ лишь движеніе раздраженія, произведеннаго въ самой близи положительнаго полюса; а при сильной поляризаціи оно не пропускаетъ чрезъ себя и болѣе отдаленнаго по мѣсту раздраженія. Тоже самое имѣетъ мѣсто и при передачѣ электротоническихъ движеній чрезъ поляризованныя мѣста нерва. Въ опытахъ дю-Буа, служащихъ подтвержденіемъ сказанному и произведенныхъ значительно ранѣе работъ Пфлюгера, роль сокращающейся мышцы играетъ часть нерва, сообщенная съ подушками мультипликатора. Мѣсто раздражающаго индукціоннаго тока занимаетъ постоянный. Бо́льшей или меньшей величинѣ мышечнаго сокращенія соотвѣтствуетъ большее или меньшее электротоническое измѣненіе, выражающееся отклоненіями стрѣлки. Вотъ шематическое изображеніе этихъ опытовъ, принадлежащихъ, по причинѣ тонкости, къ кабинетнымъ (фиг. 72). Часть нерва *A* сообщена съ концами мультипликатора. Нервъ поляризуется въ двухъ различныхъ мѣстахъ токами *P* и

---

[1]) Въ этомъ отношеніи существуетъ лишь одна разница: хотя степень электродинамическихъ измѣненій въ нервѣ при поляризаціи его и стоитъ въ прямой связи съ величиною межполюснаго пространства, но связь эта высказывается ясно лишь тогда, когда густота поляризующаго тока, ослабѣвающая при увеличеніи межполюснаго пространства, компенсируется каждый разъ до прежней силы; усиленіе же измѣненій раздражительности при тѣхъ же условіяхъ не требуетъ подобной уловки, разумѣется, до извѣстныхъ предѣловъ.

P_2. Положимъ батарея P_1 слабѣе другой; и пусть направленіе ея тока по нерву будетъ показанное на фигурѣ. Тогда другой поляризующій токъ лежитъ близъ катода и вліяніе его на срѣлку мультипликатора будетъ чувствительнѣе, чѣмъ при обратномъ направленіи по нерву P_1, потому что въ послѣднемъ случаѣ P_2 лежитъ около анода P_1. Если же P_1 сильнѣе P_2, то какое бы направленіе ни имѣлъ первый, во всякомъ случаѣ дѣйствіе P_2 на стрѣлку мультипликатора $= 0$. Явленія эти не требуютъ объясненій: они ясно показываютъ, что для передачи электротоническихъ явленій чрезъ поляризованныя части нерва существуетъ та же самая законность, какъ и для движенія раздраженія. И со стороны скорости распространенія обоего рода движеній по нерву были дѣланы опыты Гельмгольцомъ. Въ одномъ случаѣ онъ раздражалъ нервъ, связанный съ мышцей, непосредственно, въ другомъ — посредствомъ приложеннаго къ нему другаго нерва, т. е. возбуждалъ вторичное сокращеніе съ нерва, и сравнивалъ времена между началомъ раздраженія и началомъ мышечнаго сокращенія въ обоихъ случаяхъ. Изъ его результатовъ можно заключить, что быстрота обоего рода молекулярныхъ движеній одинакова.

И такъ нельзя сомнѣваться въ томъ, что измѣненіе нервной раздражительности стоитъ въ причинной связи съ поляризаціей нерва. Въ томъ же, что измѣненіе это на различныхъ полюсахъ поляризующаго тока имѣетъ противоположный характеръ, страннаго ничего нѣтъ, если вспомнить, что и при движеніи электрическаго тока по простымъ жидкимъ проводникамъ эффекты этого прохожденія на различныхъ полюсахъ различны: такъ при движеніи тока черезъ слой воды на положительномъ отдѣляется кислородъ, а на отрицательномъ водородъ. Что касается до связи измѣненій раздражительности нерва съ его электродинамическою дѣятельностью въ покоющемся состояніи, то объ этомъ будетъ рѣчь въ заключительной лекціи.

XXII.

Понятіе о нервной раздражительности съ точки зрѣнія пфлюгеровскихъ фактовъ. — Критика существующихъ воззрѣній на свойство движущаго нерва вызывать тѣмъ сильнѣйшее мышечное сокращеніе, чѣмъ дальше отъ мышцы лежитъ по длинѣ нерва мѣсто раздраженія. — Перерѣзка нерва, какъ условіе усиленія нервной раздражительности.

М. Г.

Мы займемся критическимъ разборомъ фактовъ, устанавливающихъ понятіе о нервной раздражительности. Относящіеся сюда вопросы въ высокой степени важны, потому что рѣшеніемъ ихъ устанавливается, какъ увидите, и воззрѣніе на одну изъ сторонъ молекулярнаго механизма нервнаго возбужденія. Къ сожалѣнію, вопросы эти двинулись впередъ лишь въ самое послѣднее время [1]) и нѣкоторыхъ изъ нихъ я не имѣлъ еще возможности провѣрить собственнымъ опытомъ. Впрочемъ имя ученаго, которому принадлежатъ новые факты, можетъ служить достаточнымъ ручательствомъ за ихъ достовѣрность. И такъ къ дѣлу.

Подъ нервною раздражительностью разумѣютъ обыкновенно свойства нерва приводить, при извѣстныхъ условіяхъ, называемыхъ раздраженіемъ, связанные съ нимъ концевые аппараты въ дѣятельность. Такимъ образомъ выраженіемъ раздражительности движущаго нерва служитъ мышечное сокращеніе, и величина послѣдняго есть въ извѣстныхъ границахъ мѣрило первой. Въ этомъ смыслѣ и называютъ нераздражительнымъ тотъ нервъ, который при раздраженіи не вызываетъ мышечнаго сокращенія; въ этомъ же смыслѣ говорилось и объ усиленіи или ослабленіи нервной раздражительности при дѣйствіи на нервъ постояннаго тока. Послѣдній рядъ явленій далъ однако слову раздражительность болѣе опредѣленный смыслъ: подъ нимъ разумѣлась не только

---

[1]) Напримѣръ важную монографію Гейденгайна «Die Erregbarkeit d. Nerven an verschiedenen Puncten ihres Verlaufes,» вышедшую въ нынѣшнемъ году, я получилъ только за двѣ недѣли до того, какъ пишу эти строки.

вообще способность нерва вызывать въ мышцѣ сокращеніе, но и опредѣлялись мѣста измѣненнаго постояннымъ токомъ органа, при раздраженіи которыхъ получалось болѣе или менѣе сильное мышечное сокращеніе. Такимъ образомъ явилась возможность допустить для поляризованнаго нерва, такъ сказать, мѣстную раздражительность, т. е. принять, что онъ въ различныхъ точкахъ своей длины неодинаково чувствителенъ къ постоянному по величинѣ раздраженію. Вмѣстѣ съ этимъ явилась, конечно, возможность приложить ту же мысль и къ объясненію свойства нормальнаго нерва вызывать въ мышцѣ тѣмъ сильнѣйшее сокращеніе, чѣмъ дальше отъ послѣдней по длинѣ нерва лежитъ мѣото раздраженія. А между тѣмъ вы помните, что при изложеніи условій возбужденія нормальнаго нерва электрическимъ токомъ это свойство объяснялось иначе: тамъ было сказано, что живая сила движенія, вызваннаго раздраженіемъ, наростаетъ по мѣрѣ распространенія возбужденія по нерву. Которое же изъ двухъ объясненій справедливо? Вы понимаете, что съ рѣшеніемъ этого вопроса связана участь нашего воззрѣнія на одну изъ сторонъ механизма нервнаго возбужденія; слѣдовательно нужно быть крайне строгимъ при обсужденіи его. Поэтому я и долженъ вдаться здѣсь въ подробное разсмотрѣніе всѣхъ касающихся вопроса фактовъ.

Пфлюгеръ считаетъ наростаніе живой силы возбужденія, при распространеніи его по нерву, болѣе вѣроятнымъ объясненіемъ явленія на слѣдующихъ основаніяхъ: 1) принятіе неравномѣрной раздражительности по длинѣ нерва предполагаетъ неоднородность организаціи его въ различныхъ точкахъ; 2) владѣя чрезвычайно чувствительнымъ мультипликаторомъ (33000 оборотовъ), онъ нашелъ, что отрицательное колебаніе тока при слабой тетанизаціи нерва тѣмъ сильнѣе, чѣмъ дальше лежитъ мѣсто раздраженія отъ точекъ нерва, сообщенныхъ съ мультипликаторомъ. Нечего, кажется, и прибавлять, что доводы эти имѣютъ значеніе только въ томъ случаѣ, если раздраженіе во всѣхъ точкахъ длины нерва дѣйствительно вызываетъ тѣмъ сильнѣйшее мышечное сокращеніе, чѣмъ дальше лежитъ эта точка отъ мышцы. Это-то основаніе и отнято у нихъ новѣйшими изслѣдованіями Гейденгайна. Чтобы сдѣлать вамъ понятною ошибку такого точнаго изслѣдователя, какъ Пфлюгеръ, необходимо сказать нѣсколько словъ объ употребленномъ имъ способѣ изслѣдованія нерва при установленіи во-

проса о наростаніи чувствительности этого органа съ удаленіемъ мѣста раздраженія отъ мышцы Для этого представлялось два пути: или опредѣлять силу электрическаго тока, которая бы на различныхъ высотахъ нерва давала одинаковой (наименьшей) величины мышечное сокращеніе, или сравнивать между собою величины послѣдняго при одинаковой силѣ раздражающаго тока во всѣхъ испытуемыхъ мѣстахъ по длинѣ нерва. Пфлюгеръ дѣлалъ и то и другое; но въ строгой формѣ опыты были произведены лишь въ первомъ направленіи. Прежде всего ему было нужно увѣриться, представляетъ ли нервъ, въ частяхъ видимо одинакова-го поперечнаго разрѣза, равныя величины препятствія электрическому току. Съ этою цѣлью онъ бралъ постоянную цѣпь (средства, которыми достигается постоянство, вамъ извѣстны), вводилъ въ нее мультипликаторъ и замыкалъ одинаково длинными, но различными по оси нерва, участками послѣдняго. Отклоненія магнитной стрѣлки оставались приблизительно одинаковыми. Отсюда Пфлюгеръ, конечно, заключилъ, что и величины препятствій въ частяхъ нерва равныхъ поперечныхъ разрѣзовъ равны между собою. Такихъ опытовъ онъ, вѣроятно, не дѣлалъ съ подколѣнной частью сѣдалищнаго нерва лягушки, гдѣ стволъ дѣлится на двѣ вѣтви, иначе онъ конечно нашелъ бы, что сумма поперечныхъ разрѣзовъ обѣихъ вѣтвей больше поперечнаго разрѣза непосредственно вышележащей части ствола, какъ это найдено было въ новое время Гейденгайномъ. Пфлюгеръ же принялъ, что и здѣсь величина препятствія равна той, которая найдена имъ для средняго участка ствола. Послѣ этого онъ приступилъ къ рѣшенію задачи. Раздраженіе нерва производилось замыканіемъ постояннаго тока (электроды, разумѣется, не дающіе поляризаціи и всегда равно отстоящіе другъ отъ друга); измѣреніе же силы его, дающей на различныхъ высотахъ нерва одинаковую величину мышечнаго сокращенія,—длиною металлической проволоки реохорда, введеннаго въ цѣпь раздражающаго тока какъ побочное замыканіе. Для этого ему нужно было сдѣлать въ своихъ опытахъ обѣ величины прямо пропорціональными другъ другу, а это возможно лишь при условіи, чтобы величины препятствій въ вѣтви проводника, заключающей въ себѣ нервъ, и нераздѣленной части его, идущей къ реохорду, оставалось постояннымъ и въ то же время значительно превосходило величину препятствія, представляема-

го проволокой реохорда [1]). Это и было сдѣлано Пфлюгеромъ, но, какъ показали опыты Гейденгайна, не вполнѣ. Отсюда проистекала другая важная ошибка. Третья заключалась наконецъ въ томъ, что Пфлюгеръ работалъ надъ нервами, отдѣленными отъ своего центра. Это обстоятельство, какъ увидите, не осталось безъ вліянія на результаты.

Гейденгайнъ въ новомъ изслѣдованіи вопроса шелъ тѣмъ же путемъ, что и Пфлюгеръ, но онъ умѣлъ обойдти ошибки, сдѣланныя его предшественникомъ, тѣмъ, что работалъ съ нервами, находящимися въ связи съ нервнымъ центромъ и употреблялъ болѣе точный инструментъ (буссоль съ зеркаломъ), какъ при опредѣленіи величинъ препятствій въ различныхъ участкахъ нерва, такъ и при сравненіи силъ токовъ, дающихъ на различныхъ вы-

---

[1]) Вотъ объясненіе этого. Токъ, развиваемый баттареей P (фиг. 73), идетъ къ реохорду. Здѣсь въ точкахъ a и b онъ дѣлится на двѣ вѣтви: одна $acdb$ идетъ по металлической проволокѣ реохорда и величина ея препятствія можетъ оставаться постоянной, быть увеличиваема и уменьшаема по произволу. Вмѣстѣ съ этимъ измѣняется, но обратно, и величина препятствія въ другой вѣтви тока $aefb$, заключающей въ себѣ нервъ. Если величину препятствія первой вѣтви обозначимъ черезъ m, величину второй черезъ n, а сумму препятствій въ остальной части проводника, т. е. въ самой баттареѣ P и проволокахъ, идущихъ отъ нея къ реохорду, чрезъ p, то при электродвигательной силѣ баттареи$=e$, сила тока въ вѣтви $aefb$, идущей по нерву

$$i=\frac{em}{pm+pn+mn}.$$

Если m величина препятствія въ реохордѣ, въ сравненіи съ p и n, почти$=0$, то и члены знаменателя pm и mn почти равны 0; слѣдовательно

$$i=\frac{em}{pn}.$$

При другой длинѣ проволоки $acdb$ сила тока въ вѣтви $eabf$

$$i'=\frac{em'}{pn}.$$

Отсюда $i : i'=m : m'$. Но для одной и той же проволоки величины ихъ препятствій прямо пропорціональны длинамъ, слѣдовательно силы токовъ пропорціональны и длинамъ проволокъ реохорда. Пропорціональность эта имѣетъ однако мѣсто лишь въ томъ случаѣ, если въ сравниваемыхъ между собою опытахъ величина n не измѣняется; этого же у Пфлюгера, какъ объяснено выше, не было. Притомъ онъ предполагалъ, что вѣтвь $eabf$ уже по тому самому, что она заключаетъ въ себѣ нервъ, представляетъ несравненно бо́льшее препятствіе току чѣмъ $acdb$, и потому онъ не вводилъ въ эту вѣтвь новаго препятствія (увеличивалъ только p), а между тѣмъ опыты показали Гейденгайну, что при разстояніи ef (межполюсное пространство) отъ 2—3 миллим. m сравнительно съ n далеко не равно нулю.

сотахъ нерва одинаковой величины мышечное сокращеніе. При измѣреніяхъ перваго рода онъ нашелъ, что, начиная по нерву отъ мышцы, величина препятствія увеличивается до начала вѣтвленія подколѣнной части сѣдалищнаго нерва, отсюда кверху до отдѣленія мышечныхъ вѣтвей она остается почти постоянной; здѣсь величина препятствія разомъ падаетъ до maximum (нервъ въ этомъ мѣстѣ толще, чѣмъ гдѣ-нибудь); отсюда снова увеличивается до начала нервнаго сплетенія, за которымъ опять уменьшается. Опыты же съ раздраженіемъ нерва на различныхъ разстояніяхъ отъ мышцы показали, что раздражительность, начиная отъ этого органа, падаетъ до мѣста нижняго вѣтвленія сѣдалищнаго ствола, по средней части послѣдняго идетъ, напротивъ, наростая съ удаленіемъ отъ мышцы, въ верхней же части нерва снова замѣчается ослабленіе раздражительности съ приближеніемъ къ центру. Если нервъ отдѣленъ отъ центра, то раздражительность въ послѣднемъ участкѣ идетъ, и по Гейденгайну, наростая отъ мышцы къ центру. Силы тока, потребныя для возбужденія нерва на различныхъ высотахъ до minimum, даны въ его опытахъ величинами отклоненія магнитной стрѣлки, и числа эти даютъ въ свою очередь возможность выразить относительную раздражительность различныхъ точекъ нерва въ числахъ, слѣдовательно и графически. Вотъ числа одного изъ его опытовъ, гдѣ испытывались точки нерва отъ мышцы къ центру въ разстояніи 6 миллим. другъ отъ друга, и первая сила тока принята за единицу:

1; 0,58; 0,63; 0,71; 0,86; 1,14; 1,61; 1,39.

Если построить по этимъ даннымъ кривую линію, то она будетъ имѣть форму волны, которой наибольшее возвышеніе надъ абсциссой соотвѣтствуетъ мѣсту перехода сплетенія въ стволъ, нижайшая же точка—мѣсту вѣтвленія подколѣнной части ствола на главныя вѣтви.

Какое бы значеніе ни имѣло періодическое измѣненіе раздражительности по длинѣ нерва отъ его центральнаго конца къ периферическому [1]), во всякомъ случѣ гипотеза. Пфлюгера о наростаніи

[1]) Гейденгайнъ видитъ въ этомъ обстоятельствѣ выраженіе волнообразнаго распространенія возбужденія по нерву; но въ доказательство такого воззрѣнія приводитъ пока то, что въ нѣкоторыхъ случаяхъ, при значительномъ числѣ

живой силы возбужденія по мѣрѣ распространенія послѣдняго по нерву должна пасть. Вмѣстѣ съ этимъ падаетъ и попытка Будге объяснить явленія бо́льшей раздражительности центральныхъ частей вырѣзаннаго изъ тѣла нерва противъ периферическихъ процессомъ умиранія органа, при которомъ раздражительность, какъ извѣстно, сначала возрастаетъ, потомъ падаетъ. Мнѣніе о такомъ вліяніи смерти на нервную раздражительность имѣетъ конечно основаніе, и оно было разсмотрѣно нами прежде; но такъ какъ границы этого измѣненія до сихъ поръ еще не опредѣлены ни относительно времени, ни по ихъ распространенію въ нервѣ, то есть случаи, гдѣ злоупотребляли явленіемъ при объясненіи фактовъ, въ основѣ которыхъ лежатъ другія причины. Одинъ такой примѣръ вы сейчасъ видѣли, другой мы теперь разсмотримъ. Вслѣдъ за тѣмъ, какъ Пфлюгеръ доказалъ наростаніе раздражительности въ отдѣленномъ отъ центра нервѣ, съ удаленіемъ мѣста раздраженія отъ мышцы, въ наукѣ явилась мысль, что явленіе это зависитъ, можетъ быть (по крайней мѣрѣ частью), отъ того, что при передвиганіи электродовъ отъ мышцы къ центральному концу нерва мѣсто раздраженія болѣе и болѣе приближается къ искуственно образованному поперечному разрѣзу нерва. Въ пользу такого мнѣнія были приведены факты усиленія нервной раздражительности каждый разъ, какъ отрѣзывался кусокъ нерва, лежащій отъ мышцы за электродами раздражающаго тока, причемъ конечно мѣсто раздраженія, оставаясь неизмѣннымъ относительно продольной оси нерва, приближалось къ поперечному разрѣзу послѣдняго. Въ то же время было найдено, что чѣмъ ближе отрѣзанъ кусокъ нерва къ мѣсту раздраженія, тѣмъ наростаніе раздражительности значительнѣе. Пфлюгеръ, повторяя эти опыты, придалъ имъ однако совершенно другое значеніе. Онъ говоритъ: если раздражительность нерва въ мѣстѣ раздраженія еще не начала падать, то отрѣзываніе кусковъ нерва отъ его центральнаго конца, причемъ мѣсто раздраженія приближается къ искуственному поперечному разрѣзу, возвышаетъ раз-

---

электрическихъ ударовъ нерву, зависящихъ отъ силы ихъ (отъ 400—3000 въ 1'') мышечный столбнякъ исчезаетъ. Это исчезновеніе онъ объясняетъ взаимнымъ уничтоженіемъ возбудительныхъ волнъ вслѣдствіе ихъ интерференціи. Вопросъ этотъ разработывается имъ въ настоящее время.

дражительность тѣмъ, что ускоряетъ смерть нерва; если же раздражительность въ мѣстѣ раздраженія начала падать, то отрѣзываніе центральныхъ кусковъ не только не возвышаетъ, но напротивъ того ослабляетъ мышечное сокращеніе. Слѣдовательно дѣло здѣсь не въ укороченіи пространства между мѣстомъ раздраженія и поперечнымъ разрѣзомъ, а въ болѣе быстромъ умираніи нерва при отрѣзываніи кусковъ отъ его центральнаго конца. Гейденгайнъ въ своемъ новѣйшемъ изслѣдованіи, не отрицая ускоренія смерти нерва при отрѣзываніи кусковъ отъ его центральнаго конца, приводитъ даже положительные факты въ пользу этого вліянія, но тѣмъ не менѣе продолжаетъ утверждать по прежнему о значеніи разстоянія между мѣстомъ раздраженія и искуственнымъ поперечнымъ разрѣзомъ на томъ основаніи, что ему удавалось получать усиленіе раздражительности при перерѣзкѣ нерва (спорномъ укороченіи пространства между раздраженіемъ и поперечнымъ разрѣзомъ) и въ тѣхъ періодахъ, гдѣ раздражительность послѣдняго въ мѣстѣ раздраженія начинала уже падать. Легко замѣтить, что Гейденгайнъ въ своемъ спорѣ съ Пфлюгеромъ оставилъ совершенно въ сторонѣ вопросъ о томъ, не есть ли усиленіе нервной раздражительности при укороченіи пространства между мѣстомъ раздраженія и поперечнымъ разрѣзомъ послѣдствіемъ молекулярнаго потрясенія нерва при отрѣзываніи кусковъ отъ его центральнаго конца; а такой вопросъ здѣсь, конечно, совершенно естественъ, и прежде его рѣшенія Гейденгайнъ не имѣлъ собственно права говорить о значеніи укороченія пространства между мѣстомъ раздраженія и поперечнымъ разрѣзомъ. Вопросъ разработанъ въ самое послѣднее время, и съ этой новой точки зрѣнія найдено именно средство изучать вліяніе перерѣзки нерва на нервную раздражительность, безъ укороченія пространства между мѣстомъ раздраженія и свободнымъ концомъ органа. Изслѣдованіе показало, что самый актъ перерѣзки нерва, независимо отъ другихъ совпадающихъ съ нимъ условій, производитъ усиленіе нервной раздражительности; слѣдовательно теорія Гейденгайна теряетъ свое основаніе, да и воззрѣніе Пфлюгера оказывается недостаточнымъ. Новое изслѣдованіе даетъ поводъ думать, что перерѣзка нерва оставляетъ по себѣ въ этомъ органѣ молекулярное измѣненіе, подобное тому, которое слѣдуетъ за сильнымъ электрическимъ ударомъ.

Вотъ форма опытовъ, доказывающихъ высказанныя мысли. Изъ тѣла лягушки отдѣляется голень въ связи съ сѣдалищнымъ нервомъ и нижнимъ отрѣзкомъ бедренной кости; перерѣзывается ахиллова жила и икряная мышца отщепляется отъ прочихъ, оставаясь въ связи съ мышцами бедренной кости; мышца эта связывается съ міографомъ Пфлюгера и опредѣляется сила индукціоннаго удара, способнаго вызвать minimum мышечнаго сокращенія при раздраженіи нерва въ какомъ нибудь мѣстѣ; вслѣдъ за тѣмъ перерѣзывается та вѣтвь сѣдалищнаго нерва, которая снабжаетъ вѣточками всѣ мышцы лапы и голени, за исключеніемъ икряной, и нервъ снова раздражается ударомъ прежней силы. При этомъ всегда получается усиленіе сокращенія. Вотъ смыслъ опытовъ (фиг. 74): при самой перерѣзкѣ вѣтви *a* въ икряной мышцѣ *m* получается такъ называемое парадоксальное сокращеніе, совершенно соотвѣтствующее тому, которое получается при дѣйствіи на *a* электрическимъ ударомъ, только обыкновенно слабѣе, чѣмъ въ послѣднемъ случаѣ. При этой перерѣзкѣ въ волокнахъ, идущихъ къ *m*, не происходитъ никакихъ органическихъ измѣненій, которыя ускоряли бы смерть ихъ; не происходитъ и укороченія пространства между поперечнымъ разрѣзомъ и мѣстомъ раздраженія, потому что точку приложенія раздражающаго тока къ нерву *n* можно выбрать на такой высотѣ, чтобы разстояніе ея отъ *q* было значительно меньше, чѣмъ отъ *p*. И не смотря на все это, перерѣзываніе *a* не только въ первый, но и во второй, въ третій и четвертый разъ, т. е. дальше и дальше отъ мышцы, производитъ усиленіе сокращенія *m*. Ясно, что въ этомъ усиленіи не играетъ роли ни умираніе вѣтвей, идущихъ къ *m*, ни уменьшеніе разстоянія между поперечнымъ рeзрѣзомъ и мѣстомъ раздраженія: дѣло въ томъ молекулярномъ движеніи, которое вызываетъ въ нервѣ перерѣзка его вѣтвей. Въ пользу же того, что это молекулярное движеніе подобно тому, которое слѣдуетъ за электрическимъ ударомъ, говоритъ парадоксальное сокращеніе *m* при перерѣзкѣ *a*.

И такъ, вы видите, что новое, повидимому, условіе наростанія нервной раздражительности сводится въ сущности на причины, подобныя дѣйствію электрическаго тока. Какъ понимать это наростаніе раздражительности вообще, мы увидимъ въ слѣдующій разъ.

XXIII.

Смыслъ измѣненій нервной раздражительности около положительнаго и отрицательнаго полюса поляризующаго тока. — Законъ возбужденія движущаго и чувствующаго нерва постояннымъ токомъ.

М. Г.

Сегодня мы займемся разсмотрѣніемъ самыхъ существенныхъ выводовъ изъ работы Пфлюгера, именно смысломъ тѣхъ измѣненій, которыя претерпѣваетъ нервная раздражительность на различныхъ полюсахъ поляризующаго тока, т. е. пониженіемъ или даже совершеннымъ уничтоженіемъ ея около положительнаго электрода и повышеніемъ около отрицательнаго. Начнемъ съ перваго измѣненія.

Вы знаете, что бо̀льшая или меньшая нечувствительность нерва къ раздраженію около анода есть явленіе, проходящее съ прекращеніемъ дѣйствія поляризующаго тока; въ органѣ является не только прежняя, но даже усиленная чувствительность къ раздраженію. Отсюда ясно слѣдуетъ, что въ основѣ анэлектротоническаго измѣненія не лежитъ какое-нибудь разрушеніе нервной ткани даже въ тѣхъ случаяхъ, когда при сильныхъ, постоянныхъ, токахъ нервъ представляется на видъ совершенно парализованнымъ. Въ чемъ же можетъ заключаться такое измѣненіе? Первая являющаяся здѣсь мысль заключается, конечно, въ томъ, что можетъ быть около анода способность нерва проводить раздраженіе понижается и пониженіе это ростетъ съ усиленіемъ тока. Какъ же развить эту мысль въ опытѣ? Наука даетъ для этого средство и очень простое. Бо̀льшая или меньшая способность нерва проводить по длинѣ своей раздраженіе выражается быстротою движенія этого возбужденія, а для измѣренія послѣдней даны, какъ вамъ извѣстно, средства Гельмгольцомъ. Стоитъ слѣдовательно опредѣлить время движенія возбужденія по нерву отъ какой-нибудь постоянной точки его длины при нормальныхъ условіяхъ и потомъ измѣрять ту же величину въ случаѣ, когда выше (т. е. дальше отъ мышцы) мѣста раздраженія нервъ поляризуется восходящимъ токомъ болѣе или менѣе сильно. Сравненіе соотвѣтствующихъ величинъ рѣшаетъ дѣло. Такіе опыты были произведены и най-

дено, что при поляризаціи нерва быстрота движенія возбужденія, сообщеннаго ему около положительнаго полюса, уменьшается и замедленіе это тѣмъ значительнѣе, чѣмъ сильнѣе и продолжительнѣе поляризація, такъ что при извѣстной силѣ послѣдней быстрота дѣлается = 0. Параличъ нерва около анода слѣдовательно объясненъ. Послѣ этихъ опытовъ нужно было ожидать, что при сильной поляризаціи нерва, въ какомъ угодно направленіи, между мышцей и мѣстомъ раздраженія должно происходить также замедленіе быстроты движенія возбужденія, потому что при этихъ условіяхъ всегда получается ослабленіе мышечнаго сокращенія. Опытъ оправдалъ эти ожиданія. Но онъ показалъ вмѣстѣ съ тѣмъ одно странное, повидимому, обстоятельство: и при слабыхъ поляризующихъ токахъ восходящаго направленія, когда мѣсто раздраженія лежитъ около катода и когда получается усиленіе мышечнаго сокращенія, быстрота движенія возбужденія тѣмъ не менѣе замедляется. Ясно, что если анэлектротоническое измѣненіе нерва заключается въ ослабленіи способности его проводить раздраженія, то изъ этого нельзя еще дѣлать обратнаго заключенія для измѣненій около отрицательнаго полюса. Опыты въ самомъ дѣлѣ показали, что и здѣсь быстрота движенія возбужденія понижена, и тѣмъ значительнѣе, чѣмъ сильнѣе и продолжительнѣе была поляризація. Сравненіе измѣненія быстроты возбужденія около обоихъ полюсовъ показало однако, что въ сферѣ положительнаго замедленіе сильнѣе, чѣмъ около катода. Обстоятельство это, конечно, важно, но имъ не объясняется извѣстная вамъ противоположность въ измѣненіи нервной раздражительности около обоихъ полюсовъ поляризующаго тока. Для этого нужно было принять еще какое-нибудь особенное измѣненіе нерва около отрицательнаго полюса противъ положительнаго, и это было сдѣлано Пфлюгеромъ. Онъ допустилъ, что при замыканіи тока нервъ возбуждается только въ сферѣ отрицательнаго полюса, а при размыканіи его только въ сферѣ положительнаго, или, какъ выразился Пфлюгеръ: нервъ возбуждается только началомъ катэлектротона или концомъ анэлектротона. Предположеніе свое, какъ увидите послѣ, онъ подкрѣпилъ нѣсколькими опытами и тѣмъ, что оно чрезвычайно легко объясняетъ всѣ явленія возбужденія нерва токами различной силы и различныхъ направленій. Кромѣ того, предположеніе это рядомъ новѣйшихъ опытовъ (и о нихъ рѣчь будетъ

ниже) доведено до степени несомнѣнной истины; тѣмъ не менѣе въ высказанной Пфлюгеромъ формѣ оно все еще не объясняло наростанія нервной раздражительности около катода поляризующаго тока. Пфлюгеръ говоритъ, въ самомъ дѣлѣ, только о возбужденіи нерва началомъ катэлектротона, т. е. молекулярнымъ движеніемъ при началѣ замыканія тока, наростаніе же раздражительности совпадаетъ, какъ вамъ извѣстно, съ тѣмъ временемъ, когда послѣдній замкнутъ. Дѣло другаго рода, если бы онъ предположилъ, что возбужденіе нерва около катода происходитъ во все время дѣйствія постояннаго тока и эффектъ этого возбужденія лишь маскируется (за исключеніемъ начала и конца) какими-нибудь обстоятельствами; тогда усиленіе мышечнаго сокращенія было бы понятно. Мы и увидимъ въ скоромъ времени, что есть факты, говорящіе въ пользу послѣдняго мнѣнія; теперь же обратимся къ тѣмъ, которые доказываютъ, что при замыканіи тока нервъ возбуждается лишь въ сферѣ отрицательнаго полюса, и при размыканіи только около анода. Пфлюгеръ доказалъ прямымъ опытомъ лишь половину этой мысли: онъ пропускалъ черезъ нервъ въ продолженіе долгаго времени постоянный токъ то въ нисходящемъ, то въ обратномъ направленіи, и когда по разомкнутіи его мышца приходила въ тетаническое сокращеніе, онъ перерѣзывалъ нервъ между полюсами поляризующаго тока. Если послѣдній имѣлъ нисходящее направленіе, то перерѣзка мгновенно прекращала размыкательный столбнякъ; при противномъ же направленіи онъ оставался и по перерѣзкѣ нерва. Въ первомъ случаѣ перерѣзкой отдѣлялись отъ мышцы части нерва, бывшія во время поляризаціи анэлектротонизированными и перешедшія по прекращеніи дѣйствія постояннаго тока въ возбужденное состояніе. Во второмъ же случаѣ, наоборотъ, отдѣлялись отъ мышцы части нерва, перешедшія вслѣдъ за прекращеніемъ поляризаціи изъ возбужденнаго состоянія въ противоположное. Этими двумя опытами доказывалось слѣдовательно лишь то, что при размыканіи тока нервъ возбуждается молекулярнымъ движеніемъ около анода, а не въ сферѣ отрицательнаго полюса. Не доставало слѣдовательно подобныхъ же опытовъ съ замыканіемъ тока. Два года тому назадъ они были сдѣланы Шово въ слѣдующей формѣ: на живой лошади онъ обнажалъ оба личные нерва, прикладывалъ электроды, идущіе отъ второй спирали, къ стволамъ обѣихъ сторонъ и раздражалъ сла-

быми индукціонными ударами. Сокращеніе происходило только въ той половинѣ лица, гдѣ на нервѣ лежалъ отрицательный полюсъ. При слабыхъ токахъ живые нервы возбуждаются, какъ извѣстно, только началомъ, а не концомъ тока (замыканіемъ, а не размыканіемъ), слѣдовательно въ опытахъ Шово сокращеніе отъ индукціонныхъ ударовъ вполнѣ соотвѣтствуетъ сокращенію отъ замыканія постояннаго тока. Впрочемъ опытъ Шово легко повторить на лягушкѣ при послѣдней формѣ раздраженія. Животному перерѣзывается спинный мозгъ тотчасъ надъ входомъ въ позвоночникъ нервнаго сплетенія, изъ котораго образуется сѣдалищный нервъ, и обнажается стволъ послѣдняго въ обѣихъ конечностяхъ. Одинъ электродъ слабаго постояннаго тока прикладывается къ одному стволу, другой къ другому. Сокращеніе происходитъ, какъ видите, только въ той конечности, гдѣ къ нерву прикладывается отрицательный полюсъ. Въ этомъ опытѣ устранено одно очень важное возраженіе противъ опытовъ Шово, именно перерѣзкою спиннаго мозга на означенной высотѣ уничтожена возможность рефлексовъ съ одного нерва на другой, чего не было сдѣлано французскимъ ученымъ. Но черезъ это не устранено, къ сожалѣнію, изъ опытовъ послѣдняго еще другаго обстоятельства, ослабляющаго ихъ значеніе. При наложеніи электродовъ раздражающаго тока на соотвѣтствующіе нервы обѣихъ половинъ тѣла, токъ идетъ по одному нерву въ восходящемъ, по другому въ обратномъ направленіи, слѣдовательно органы находятся не въ одинаковыхъ условіяхъ. Поэтому опыты Шово, взятые отдѣльно, не могутъ доказать строго мысли Пфлюгера, но, взятые вмѣстѣ съ опытами послѣдняго, они конечно имѣютъ значеніе. Впрочемъ въ послѣднее время явились изслѣдованія Бецольда, возводящія предположеніе Пфлюгера на степень истины. Онъ дѣйствовалъ на нервъ при неизмѣнномъ положеніи электродовъ замыканіемъ постояннаго тока то въ нисходящемъ, то въ обратномъ направленіи (фиг. 75) и сравнивалъ между собою времена, протекающія между моментомъ возбужденія и началомъ мышечнаго сокращенія. Если при замыканіи токовъ нервъ возбуждается лишь молекулярными измѣненіями около отрицательнаго полюса, то при нисходящемъ направленіи тока время между возбужденіемъ нерва и началомъ мышечнаго сокращенія должно быть конечно менѣе, чѣмъ при обратномъ направленіи раздражителя, и эта разница временъ

должна соотвѣтствовать тому количеству времени, которое нужно для передвиженія возбужденія отъ b' къ a'. Если съ другой стороны при размыканіи тока нервъ возбуждается въ мѣстѣ положительнаго полюса, то время между размыканіемъ восходящаго тока и началомъ мышечнаго сокращенія должно быть короче, чѣмъ въ другомъ случаѣ, и разница временъ должна опять соотвѣтствовать времени, потребному для передвиженія возбужденія отъ b къ a. Опытъ вполнѣ подтвердилъ эти ожиданія. При замыканіи тока въ направленіи $a'b'$ получалось всегда замедленіе мышечнаго сокращенія противъ другаго случая и замедленіе было даже значительнѣе того времени, которое нужно для передвиженія раздраженія отъ b' къ a' при нормальныхъ условіяхъ нерва, потому что здѣсь раздраженіе должно было проходить по поляризованному органу. Опыты съ размыканіемъ токовъ тоже дали ожидаемые результаты.

И такъ мысль Пфлюгера оказалась совершенно справедливой. Въ приложеніи къ объясненію всѣхъ явленій возбужденія нерва замыканіемъ и размыканіемъ токовъ различныхъ направленій (лекц. XI и XVI) мысль эта требуетъ лишь слѣдующаго пополненія: при поляризаціи слабыми и средними токами нервъ сильнѣе возбуждается началомъ катэлектротона, чѣмъ концомъ анэлектротона. Это дополнительное положеніе имѣетъ экспериментальное основаніе: вы помните, что при слабой поляризаціи число нервныхъ частичекъ съ возвышенною раздражительностью значительно превосходитъ число анэлектротонизированныхъ; слѣдовательно естественно думать, что и при среднихъ силахъ поляризующаго тока можетъ еще остаться перевѣсъ на сторонѣ первыхъ. Въ пользу же того, что степень возбужденія стоитъ въ прямой связи съ массою возбужденныхъ частичекъ, говоритъ то обстоятельство, что чѣмъ, при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ, больше межполюсное пространство раздражающаго тока, тѣмъ возбужденіе сильнѣе (лекція XI). И такъ, мысль Пфлюгера и съ означеннымъ пополненіемъ оказывается справедливой. Посмотримъ же, на сколько объясняются ею явленія возбужденія движущаго нерва замыканіемъ и размыканіемъ токовъ различныхъ направленій. Для бòльшаго удобства читателей я проведу здѣсь снова таблицу этихъ явленій, составленную Пфлюгеромъ.

Сила тока.	Восходящій токъ.	Нисходящій токъ
слаб. токъ	зам.—сокращ. разм.—покой.	зам.—сокращ. разм.—покой.
сред. токъ	зам.—сокращ. разм.—сокращ.	зам.—сокращ. разм.—сокращ.
сильн. токъ	зам.—покой. разм.—сокращ.	зам.—сокращ. разм.—слаб.сокращ (?).

Начнемъ съ явленій восходящаго тока. Здѣсь при замыканіи тока отрицательный полюсъ мѣсто раздраженія нерва—лежитъ отъ мышцы дальше положительнаго. Возбужденіе, проходя по длинѣ нерва къ мышцѣ, встрѣчаетъ на пути болѣе или менѣе анэлектронизированныя части, оттого при слабыхъ и среднихъ силахъ тока замыканіе даетъ еще сокращеніе, при сильныхъ же последнее невозможно, потому что части нерва около анода неспособны проводить возбужденія. При размыканіи слабыхъ восходящихъ токовъ сокращенія нѣтъ, потому что возбужденіе отъ исчезанія анэлектротона вообще слабѣе, чѣмъ отъ наступленія катэлектротона. Когда же восходящій токъ усиливается, то нервъ конечно возбуждается и это возбужденіе легко передается мышцѣ, такъ какъ на пути къ ней нѣтъ препятствія.

При замыканіи нисходящихъ токовъ катодъ — мѣсто раздраженія нерва — лежитъ ближе къ мышцѣ, чѣмъ положительный полюсъ, слѣдовательно понятно, что сокращеніе происходитъ при всякой силѣ тока. Размыканіе же слабаго тока не даетъ сокращенія по той самой причинѣ, по чему его не бываетъ при размыканіи слабыхъ восходящихъ токовъ. Точно также объясняется и появленіе размыкательнаго сокращенія нисходящимъ токомъ средней силы, какъ это было сдѣлано для тока обратнаго направленія. Что касается наконецъ до явленій размыканія сильныхъ нисходящихъ токовъ, то при этомъ сокращенія, какъ вы знаете, или вовсе не бываетъ, или оно чрезвычайно слабо. И это обстоятельство объясняется фактами Пфлюгера. Вы помните, что съ прекращеніемъ поляризаціи частицы нерва около отрицательнаго полюса переходятъ на 1, 2 секунды въ противоположное, т. е. пониженное, состояніе раздражительности. Слѣдовательно въ нашемъ случаѣ возбужденію, развивающемуся мгновенно вслѣдствіе исчезанія

анэлектротона, приходится пройдти черезъ части нерва, не проводящія раздраженія, оттого сокращенія иногда вовсе не бываетъ. Появленіе же слабаго объясняется тѣмъ, что непосредственное послѣдовательное измѣненіе нерва около катода длится очень мало времени, и когда оно прекращается, то возбужденіе около анода, разумѣется, уже ослабѣвшее, все еще продолжается. Этимъ остаткомъ возбужденія и приводится мышца въ сокращеніе. Вы, конечно, замѣтили, что при послѣднемъ объясненіи я сдѣлалъ какъ будто маленькую натяжку, принявъ, что актъ возбужденія, связанный съ исчезаніемъ анэлектротона, переживаетъ по времени угнетеніе раздражительности около катода, слѣдующее непосредственно за размыканіемъ поляризующаго тока. До сихъ поръ объ этомъ, правда, не было рѣчи, но мысль эта имѣетъ основаніе. Въ пользу ея говоритъ во-первыхъ то обстоятельство, что за короткимъ по времени угнетеніемъ около катода слѣдуетъ состояніе возвышенной раздражительности. Откуда взяться этому движенію, какъ не отъ частичекъ сосѣднихъ положительному полюсу? Во-вторыхъ за эту мысль говоритъ такъ называемый риттеровскій размыкательный столбнякъ отъ нисходящаго тока и извѣстный вамъ опытъ перерѣзыванія нерва во время столбняка. Послѣднее явленіе заключается въ слѣдующемъ: если поляризовать нервъ сильнымъ нисходящимъ токомъ долгое время, напр. $^1/_4$, $^1/_2$ часа, то при размыканіи тока мышца приходитъ въ продолжительное тетаническое сокращеніе. Факты для объясненія этого явленія вамъ извѣстны: если поляризація сильна и длится много времени, то послѣдующія за размыканіемъ тока измѣненія нерва выражены особенно рѣзко; около катода пониженіе раздражительности сильно, но тѣмъ короче, чѣмъ сильнѣе токъ; послѣдовательная же модификація около положительнаго полюса, кромѣ силы, отличается еще продолжительностью. Естественно думать, что столбнякъ есть выраженіе послѣдней модификаціи;—другаго источника раздраженія нѣтъ. Здѣсь-то опытъ Пфлюгера и рѣшаетъ дѣло. Онъ перерѣзываетъ, какъ вы помните, нервъ между электродами во время столбняка, удаляетъ тѣмъ отъ мышцы частицы, находящіяся около анода, и столбнякъ мгновенно утихаетъ. Слѣдовательно ясно, что эти частицы были, такъ сказать, фокусомъ возбужденія.

И такъ явленія возбужденія свѣжаго движущаго нерва постоянными токами различныхъ направленій объяснены. Посмотримъ

теперь, какъ объясняются явленія возбужденія нерва тѣми же токами, но при условіяхъ, когда онъ умираетъ.

Таблица Нобили для токовъ средней силы

Періоды.	Восходящій токъ.	Нисходящій токъ.
1-й	зам.—сокращ. разм.—сокращ.	зам.—сокращ. разм.—сокращ.
2-й	зам.—покой. разм.—сокращ.	зам.—сильн. сокращ. разм.—слаб. сокращ.
3-й	зам.—покой. разм.—сокращ.	зам.—сокращ. разм.—покой.
4-й	зам.—покой. разм.—покой.	зам.—сокращ. разм.—покой.

Одного взгляда достаточно, чтобы понять, какія измѣненія раздражительности происходятъ въ нервѣ при умираніи его: въ началѣ уничтожается чувствительность къ болѣе слабымъ возбужденіямъ, потомъ и сильныя становятся недѣйствительными. Вы понимаете, что на этомъ основаніи замыканіе нисходящаго тока должно было въ самомъ дѣлѣ пережить, по своей дѣйствительности, всѣ прочіе моменты возбужденія. Въ таблицѣ Нобили нѣтъ явленій, соотвѣтствующихъ періоду наростанія раздражительности, предшествующему умиранію нерва, потому что его періоды отдѣлены другъ отъ друга большими промежутками времени. Слѣдовательно между высказанными теперь словами и сказаннымъ прежде относительно измѣненія нервной раздражительности по отдѣленіи нерва отъ тѣла противорѣчія нѣтъ.

И такъ законъ Пфлюгера въ примѣненіи къ явленіямъ раздраженія движущаго нерва оправдался. Нужно было ожидать, что и въ отношеніи къ чувствующимъ волокнамъ онъ остается тѣмъ же, т. е. что и здѣсь мѣсто возбужденія при замыканіи тока есть сфера отрицательнаго полюса, а при размыканіи оно является у противоположнаго. Вотъ новѣйшая форма опытовъ Пфлюгера, оправдавшихъ эти ожиданія. Для усиленія рефлексовъ онъ отравляетъ лягушку стрихниномъ и укрѣпляетъ ее спиною вверхъ. Обнажаетъ сѣдалищный нервъ съ одной стороны и оставляетъ соотвѣт-

ствующую голень въ связи съ тѣломъ лишь посредствомъ этого нерва. Кромѣ того тщательно перерѣзываетъ всѣ боковыя вѣтви ствола, лежащія выше голени (иначе при дѣйствіи постояннымъ токомъ на стволъ въ боковыхъ вѣтвяхъ возбуждалось бы черезъ сосѣдство электротоническое движеніе, дающее мышечное сокращеніе въ частяхъ, лежащихъ выше голени, и это вводило бы въ ошибку). За тѣмъ раздражаетъ нервъ замыканіями и размыканіями постояннаго тока противоположныхъ направленій. Если законъ возбужденія движущаго нерва распространяется и на чувствующій, то замыканіе сильнаго нисходящаго тока должно произвести сильное сокращеніе лишь въ голени раздражаемой стороны. Рефлекса въ другой ногѣ быть не можетъ, потому что здѣсь между мѣстомъ раздраженія (катодъ) и нервнымъ центромъ лежитъ сфера положительнаго полюса, не пропускающая черезъ себя раздраженія. Напротивъ при размыканіи этого тока въ голени раздражаемой стороны сокращенія можетъ и не быть, но отраженное движеніе другой ноги должно быть сильно, потому что теперь мѣсто раздраженія лежитъ ближе къ центру и центростремительной передачѣ возбужденія нѣтъ никакого препятствія на пути. Теперь уже вы понимаете, что замыканіе и размыканіе сильнаго восходящаго тока должно имѣть обратное дѣйствіе, т. е. первое—покой раздражаемой конечности и сильный рефлексъ въ другой; второе — сильное сокращеніе раздражаемой и покой или слабое рефлективное въ противоположной. Такъ и бываетъ. Явленіе выражается тѣмъ чище, чѣмъ ближе по нерву къ мышцѣ мѣсто раздраженія и чѣмъ сильнѣе взятъ постоянный токъ (не менѣе 4-хъ большихъ элементовъ Даніэлля).

Въ заключеніе этой лекціи покажу вамъ два старинныхъ опыта, которые объясняются открытіями Пфлюгера. Первый изъ нихъ принадлежитъ Вольтѣ и извѣстенъ въ наукѣ подъ именемъ вольтовой альтернативы. Знаменитый итальянскій физикъ нашелъ, что если постоянный токъ какого бы то ни было направленія дѣйствуетъ долго на нервъ и направленіе его вдругъ будетъ измѣнено, то получается тетаническое мышечное сокращеніе. Столбнякъ, какъ видите, однако сильнѣе, если первоначальное направленіе тока было восходящее. Смыслъ явленія вамъ конечно понятенъ. Извращеніе тока даннаго направленія необходимо связано съ размыканіемъ его. Если токъ былъ напримѣръ восходящій, то при

размыканіи получалось сильное сокращеніе и фокусомъ раздраженія была сфера положительнаго полюса. Сокращеніе еще не успѣло прекратиться, а на нервъ дѣйствуетъ уже токъ обратнаго направленія, т. е. гдѣ былъ положительный полюсъ, тамъ теперь отрицательный; слѣдовательно на возбужденныя точки нерва дѣйствуетъ новое возбужденіе. Ясно, что мышечное сокращеніе усилится. Явленія вольтовой альтернативы были разработаны въ лабораторіи дю-Буа-Реймона и резюмированы слѣдующимъ образомъ: всякій постоянный токъ возвышаетъ раздражительность нерва для размыканія даннаго и замыканія обратнаго по направленію тока; напротивъ онъ ослабляетъ для замыканія даннаго и размыканія обратнаго. Вы понимаете, однако, что это правило, на основаніи законовъ Пфлюгера, имѣетъ мѣсто только для токовъ слабыхъ и средней силы.

Второе явленіе, которое я хотѣлъ вамъ показать, вы уже знаете. Это риттеровскій столбнякъ по размыканіи долго дѣйствовавшаго на нервъ постояннаго тока восходящаго направленія. Показываю вамъ этотъ опытъ для того, чтобы вы могли собственными глазами убѣдиться, какъ долго при этомъ продолжается мышечное сокращеніе, не смотря на то, что непосредственное дѣйствіе раздражителя прекратилось. Такое убѣжденіе вамъ пригодится на будущую лекцію.

Теперь же я покажу еще случай, гдѣ восходящій постоянный токъ дѣйствуетъ на нервъ какъ бы оживляющимъ образомъ. Первое относящееся сюда наблюденіе было сдѣлано Гейденгайномъ и оно въ то время всѣхъ удивило своей странностью. Если нервъ привести надолго въ дѣятельность, напримѣръ перерывистымъ токомъ, то онъ наконецъ устанетъ и откажется вызывать на раздраженіе сокращеніе въ мышцѣ. Но стоитъ только подвергнуть утомленный нервъ дѣйствію постояннаго восходящаго тока минутъ на 5, тогда по прекращеніи поляризаціи онъ снова становится раздражительнымъ, т. е. способнымъ вызывать мышечное сокращеніе. Это оживляющее дѣйствіе объясняется повсемѣстнымъ усиленіемъ раздражительности въ нервѣ, на который дѣйствовалъ восходящій токъ.

XXIV.

Доводы въ пользу того, что раздраженіе нерва около отрицательнаго полюса происходитъ во все время, пока токъ замкнутъ. — Разница между раздраженіемъ нерва индукціоннымъ ударомъ и замыканіемъ или размыканіемъ постояннаго тока. — Связь между возбужденіемъ нерва и его электрическими свойствами.

М. Г.

Прошлый разъ, при разборѣ причинъ наростанія нервной раздражительности около отрицательнаго полюса поляризующаго тока, было замѣчено, что если бы допустить, что раздраженіе нерва продолжается здѣсь во все время дѣйствія на органъ тока, то наростаніе раздражительности было бы понятно. Въ самомъ дѣлѣ раздраженіе около катода поляризованнаго нерва, употребляемое какъ проба на степень раздражительности послѣдняго, падало бы тогда на точки органа уже возбужденныя; эффекты первоначальнаго и вторичнаго возбужденія суммировались бы между собою и отсюда естественнымъ образомъ вытекало бы усиленіе мышечнаго сокращенія. Катэлектротоническое измѣненіе нерва во время дѣйствія постояннаго тока на этотъ органъ сводилось бы слѣдовательно на то, что около отрицательнаго полюса частицы нерва находятся во все это время въ возбужденіи, котораго эффектъ лишь маскируется какими-нибудь особенными вліяніями. Мысль эта имѣетъ за собою очень много фактовъ. Посмотрите напримѣръ на характеръ мышечнаго сокращенія при химическомъ раздраженіи поляризованнаго нерва. Когда поваренная соль начинаетъ дѣйствовать на нормальный нервъ, то въ мышцѣ появляются отдѣльныя слабыя подергиванія. Подѣйствуйте въ эту минуту на нервъ постояннымъ токомъ, такъ чтобы катодъ приходился подлѣ мѣста раздраженія—мышца приходитъ въ столбнякъ, длящійся чуть не минуту. Откуда, какъ не изъ дѣйствія постояннаго тока, взялась такая постоянная раздражающая причина? Разомкните въ самомъ дѣлѣ токъ и сокращенія отъ соли снова принимаютъ клоническій характеръ. Въ пользу непрерывности раздраженія нерва постояннымъ токомъ говоритъ также размыкательный мышечный столбнякъ съ поляризованнаго нерва. Вы помните, что вслѣдъ за

размыканіемъ тока, поляризующаго нервъ, въ послѣднемъ является токъ противоположнаго направленія и конечно этому последующему току столбнякъ обязанъ своимъ происхожденіемъ. А въ концѣ прошлой лекціи вы видѣли, что столбнякъ этотъ длится много времени. Вотъ уже второй случай, гдѣ постоянный токъ, дѣйствуя на нервъ, вызываетъ въ мышцѣ продолжительное сокращеніе. А пфлюгеровскій мышечный столбнякъ при поляризаціи нормальнаго нерва слабыми токами? Здѣсь сокращеніе продолжается все время поляризаціи. Конечно, вѣдь и въ этомъ случаѣ раздраженіе выходитъ не изъ положительнаго полюса. Вспомните наконецъ, что чувствующія волокна дѣятельны во все время, пока на нихъ дѣйствуетъ постоянный токъ. Почему не быть тому же и съ движущими? Ниже вы увидите, что есть и другіе факты, говорящіе въ пользу развиваемой мною мысли; но и приведенныхъ доводовъ, кажется, достаточно, чтобы допустить возможность выражаемаго этой мыслью факта. Допустимъ же, что мысль справедлива. Тогда остается еще объяснить, почему нормальный нервъ въ бо̀льшей части случаевъ, т. е. для бо̀льшаго числа токовъ разной силы, вызываетъ въ мышцѣ сокращеніе только при началѣ поляризаціи. Отвѣтить на это опредѣлительно пока еще невозможно; но и теперь существуютъ уже намеки на возможность рѣшенія вопроса. Стоитъ напримѣръ предположить, что угнетеніе способности нерва проводить возбужденіе, являющееся при поляризаціи его, развивается вообще не такъ быстро, какъ возбуждающее движеніе, и что перевѣсъ перваго молекулярнаго измѣненія нерва надъ последнимъ наступаетъ только при извѣстной силѣ тока. Ничто не мѣшало бы далѣе принять за фокусъ этого парализующаго движенія сферу положительнаго полюса [1]); тогда противоположность, существующая всегда въ химическомъ дѣйствіи полюсовъ электролизирующаго тока, оправдывалась бы и въ физіологическомъ отношеніи. Такимъ воззрѣніемъ объяснялось бы сверхъ того, почему мышечное сокращеніе принимаетъ особенно

---

[1]) Самое серьёзное возраженіе противъ такого принятія заключается въ наблюденіи Бецольда, что внѣполюсныя сферы угнетенной проводимости поляризованнаго нерва съ обѣихъ сторонъ отъ электродовъ, повидимому, равны между собою. Принявъ же анодъ за фокусъ этого измѣненія, слѣдовало бы ожидать, что въ сторону катода сфера его должна быть меньше.

легко тетаническій характеръ при поляризаціи нерва нисходящими токами, когда притомъ межполюсное пространство велико. Все это конечно предположенія; возражать противъ нихъ нетрудно; тѣмъ не менѣе они указываютъ на возможность рѣшенія вопроса, отчего въ движущемъ нервѣ физіологическій эффектъ поляризаціи идетъ объ руку съ послѣдней только до извѣстной силы тока, потомъ же появляется лишь при началѣ его дѣйствія. Правда, что тогда пришлось бы объяснять, почему того же самаго не бываетъ въ чувствующемъ нервѣ; но вѣдь и теперь существуетъ вопросъ о причинѣ разницы между этими двумя родами нервныхъ волоконъ по отношенію ихъ къ постоянному току; слѣдовательно объясненіе явленія въ движущемъ нервѣ все-таки было бы шагомъ впередъ.

Чтобы покончить съ электрическимъ раздраженіемъ нерва, мнѣ остается еще сказать нѣсколько словъ о разницѣ между дѣйствіемъ на нервъ замыканія слабаго постояннаго тока и слабаго размыкательнаго индукціоннаго удара, который, какъ извѣстно, продолжается чрезвычайно короткое время. Бецольдъ, дѣлавшій эти сравненія, нашелъ, что при слабыхъ постоянныхъ токахъ время, протекающее между замыканіемъ ихъ и началомъ мышечнаго сокращенія, превышаетъ иногда втрое соотвѣтствующую величину при слабыхъ размыкательныхъ индукціонныхъ ударахъ. Эта разница сглаживается тѣмъ болѣе, чѣмъ сильнѣе раздраженіе, такъ что всегда существуетъ такая сила тока, при которой время между замыканіемъ и началомъ мышечнаго сокращенія равно соотвѣтствующей величинѣ отъ сильнаго индукціоннаго удара. Бецольдъ объясняетъ это обстоятельство довольно странно: по его мнѣнію, первый эффектъ замыканія постояннаго тока выражается не развитіемъ возбуждающаго движенія по длинѣ нерва, а измѣненіемъ нервной раздражительности — приготовленіемъ нерва, какъ онъ выражается, къ возбужденію. Какъ будто есть возможность отдѣлить въ представленіи механическую сторону одного явленія отъ другаго, съ тѣхъ поръ какъ самъ Бецольдъ способствовалъ укрѣпленію мысли, что при поляризаціи нерва онъ постоянно возбуждается молекулярными движеніями около катода? Не естественнѣе ли думать, что при началѣ слабыхъ токовъ возбуждающему движенію нужно извѣстное время для наростанія до той силы, при которой можетъ произойдти мышечное сокращеніе.

Слабый размыкательный индукціонный ударъ не нуждается въ этомъ времени, потому что въ немъ соединены, такъ сказать, разомъ начало катэлектротона и конецъ анэлектротона; при замыканіи же постоянныхъ токовъ последняго условія раздраженія не существуетъ. Форма раздраженія нерва въ описанныхъ опытахъ Бецольда была та же самая, которую употреблялъ Пфлюгеръ при опредѣленіи измѣненія общей раздражительности поляризованнаго межполюснаго пространства. Разница въ томъ, что у Бецольда для опредѣленія времени отъ начала раздраженія до наступленія сокращенія мышцы последняя связывалась съ міографомъ Гельмгольца. Опыты его распространялись и на сравненіе эффектовъ индукціонныхъ ударовъ съ размыканіемъ постояннаго тока. Результаты были тѣ же, что для замыканія.

Вотъ та точка, на которой остановились современныя изслѣдованія вопроса объ электрическомъ раздраженіи нерва. Вы видите, что проблемма становится такимъ образомъ отчасти химическою: изученіе электролиза нервнаго вещества дѣлается сущею необходимостью. Нельзя однако согласиться съ мнѣніемъ Бецольда, что проблемма эта получаетъ исключительно химическій характеръ: вопросъ о возбужденіи нерва не исчерпывается еще моментомъ раздраженія нѣкоторыхъ изъ его частицъ: къ нему относится и та сторона процесса, которая заключается въ распространеніи этого мѣстнаго возбужденія по длинѣ нерва.

Резюмируемъ же въ заключеніе все касающееся дѣйствія постояннаго тока на нервъ.

Подъ вліяніемъ этого дѣятеля въ органѣ развивается электродвигательная дѣятельность, распространяющаяся по длинѣ нерва въ обѣ стороны отъ мѣста проложенія тока, — нервъ поляризуется. Съ удаленіемъ отъ электродовъ поляризація ослабѣваетъ. Сумма этихъ измѣненій выражена тѣмъ рѣзче, чѣмъ сильнѣе постоянный токъ. Съ прекращеніемъ его дѣйствія въ нервѣ развивается электродвигательная дѣятельность въ обратномъ противу прежняго направленіи—послѣдовательная поляризація. Она выражена тѣмъ яснѣе, чѣмъ сильнѣе и продолжительнѣе была первичная. Рядомъ съ этими электрическими явленіями нервъ, находящійся подъ вліяніемъ постояннаго тока, представляетъ измѣненія въ своихъ физіологическихъ свойствахъ. Въ сферѣ отрицательнаго полюса происходитъ раздраженіе нервныхъ частичекъ (вѣроятно

продуктами электролиза), и конечно оно неограничивается только точками, подлежащими электроду, а распространяется на всѣ тѣ, въ которыхъ можно открыть присутствіе поляризаціи. Такимъ образомъ сфера катэлектротоническаго измѣненія, по Пфлюгеру, становится въ нашемъ смыслѣ сферою раздраженія. Послѣднее, подобно поляризаціи, ослабѣваетъ съ удаленіемъ отъ катода. Оттого всякое новое раздраженіе, приложенное къ нерву въ сферѣ отрицательнаго полюса, суммируясь съ тѣмъ, которое дано поляризаціей, вызываетъ усиленный физіологическій эффектъ, и тѣмъ сильнѣйшій, чѣмъ ближе лежитъ мѣсто новаго раздраженія къ катоду, т. е. къ фокусу уже существующаго. Измѣненія нерва около положительнаго полюса представляютъ между тѣмъ совершенно противоположный характеръ: здѣсь воспріимчивость нерва къ раздраженію вообще притуплена, а при извѣстныхъ силахъ тока ея вовсе не существуетъ. И это измѣненіе выражено тѣмъ яснѣе, чѣмъ ближе испытуемое мѣсто нерва къ положительному полюсу. Заключается ли это угнетенное состояніе нервной раздражительности именно въ томъ молекулярномъ измѣненіи поляризованнаго нерва, которое выражается замедленіемъ быстроты движенія возбужденія по длинѣ его, сказать положительно нельзя, но это въ высокой степени вѣроятно. Тогда выходило бы, что поляризующее движеніе, выходя изъ положительнаго полюса, пронизывало бы всегда всю сферу возбужденныхъ частицъ около отрицательнаго; движеніе же возбужденія въ обратномъ направленіи было бы возможно только при слабой поляризаціи. Вопросъ, почему раздраженіе движущаго нерва, продолжаясь при всѣхъ силахъ тока во все время поляризаціи, вызываетъ постоянное мышечное сокращеніе только при нѣкоторыхъ, остается пока нерѣшеннымъ. Вы однако помните, что есть возможность объяснить себѣ это явленіе. Что касается до возбуждающаго движенія въ нервѣ, то оно развивается конечно во всѣхъ раздражаемыхъ точкахъ его, т. е. по всей длинѣ катэлектротонизированнаго пространства. Законъ же распространенія этого движенія по нерву еще не опредѣленъ. Во всякомъ случаѣ мнѣніе Пфлюгера о наростаніи силы возбужденія по мѣрѣ распространенія его въ нервѣ должно быть теперь оставлено. Вотъ сумма явленій, представляемыхъ нервомъ подъ вліяніемъ постояннаго тока. Если вы поставите, съ одной стороны, измѣненія электрическихъ свойствъ, съ другой—сумму

физіологическихъ измѣненій въ поляризованномъ нервѣ, то конечно можно уже судить, существуетъ ли между ними причинная связь. На сколько же характеръ электрическихъ измѣненій нерва при его поляризаціи обусловливается электро-молекулярнымъ устройствомъ покоющагося органа, на столько открывается связь между послѣднимъ и суммою физіологическихъ явленій. Такимъ образомъ рѣшается вопросъ, вытекаетъ ли физіологическая дѣятельность нерва изъ его электро-молекулярнаго устройства.

Прежде, когда при послѣднемъ словѣ всякій представлялъ себѣ электро-молекулярную тему дю-Буа и когда ученіе о раздраженіи нерва вообще (т. е. электрическомъ, химическомъ и механическомъ) находилось еще на степени развитія, данной ему берлинскимъ электро-физіологомъ, связь эту провести было легко. Для движущаго нерва актъ физіологическаго возбужденія состоялъ въ колебаніи нервныхъ частичекъ при переходѣ ихъ подъ вліяніемъ электрическаго тока отъ периполярнаго расположенія къ дополярному, и наоборотъ. Возбужденіе ограничивалось такимъ образомъ началомъ или концомъ, или вообще колебаніемъ раздражающаго тока. Возбуждающее движеніе по длинѣ нерва не смѣшивалось съ движеніемъ поляризаціи и имѣло выраженіемъ такъ называемое отрицательное колебаніе нервнаго тока, т. е. повсемѣстное ослабленіе электродинамической дѣятельности по длинѣ возбужденнаго органа. И послѣднее явленіе очень стройно объяснялось съ точки зрѣнія гипотезы дю-Буа объ электро-молекулярномъ устройствѣ нерва. Если возбужденіе было въ самомъ дѣлѣ повертываніе нервныхъ молекулъ около своихъ осей, то рядъ такихъ повертыванiй долженъ былъ необходимо влечь за собою ослабленіе положительнаго электрическаго напряженія продольной поверхности органа, а вмѣстѣ съ тѣмъ конечно и ослабленіе тока, отведеннаго отъ этой поверхности и поперечнаго разрѣза органа. Хотя вопросъ, почему чувствующій нервъ, имѣя то же электро-молекулярное устройство, какъ и движущій, представлялъ относительно возбужденія электрическимъ токомъ отличіе отъ послѣдняго, и оставался нерѣшеннымъ, но и тогда существовали уже факты, указывавшіе на то, что разница между ними только количественная. Можно было напримѣръ думать, что чувствующія волокна несравненно воспріимчивѣе движущихъ къ колебаніямъ силы тока, а истиннаго постоянства послѣдняго безъ особенныхъ уло-

вокъ (тогда еще не употреблявшихся) достичь невозможно. Такимъ образомъ связь между электрическимъ устройствомъ нерва и его физіологическою дѣятельностью становилась дѣломъ доказаннымъ и самый актъ возбужденія нерва получалъ съ молекулярно-механической стороны даже форму.

Позднѣйшія изслѣдованія разрушили это стройное зданіе, но не уничтожили, какъ сейчасъ увидимъ, возможности связи между электро-молекулярнымъ устройствомъ нерва и его физіологической дѣятельностью.

Отождествлять теперь актъ возбужденія съ повертываніемъ молекулъ въ смыслѣ дю-Буа невозможно, потому что всѣ явленія раздраженія нерва электрическимъ токомъ указываютъ на то, что органъ возбуждается, напримѣръ, при замыканіи только въ сферѣ отрицательнаго полюса, а здѣсь повертываніе должно происходить въ томъ же направленіи, какъ и около положительнаго. Притомъ есть много поводовъ думать, что во всякомъ нервѣ и при всякихъ силахъ тока актъ раздраженія продолжается во все время поляризаціи. Наконецъ не нужно забывать, что гипотеза о повертываніи молекуловъ около осей имѣло значеніе лишь рядомъ съ гипотезой объ электрическомъ устройствѣ покоющагося нерва: съ паденіемъ послѣдней теряетъ значеніе и первая. Но вотъ факты, которые говорятъ въ пользу связи между электрической организаціей нерва и его физіологическою дѣятельностью. Вы помните, что актъ возбужденія волею движущихъ нервовъ долженъ быть подобенъ возбужденію этого органа рядомъ отдѣльныхъ электрическихъ ударовъ, причемъ нервъ представляетъ, какъ вамъ извѣстно, отрицательное колебаніе покоющагося тока, т. е. опредѣленное измѣненіе въ своихъ электрическихъ свойствахъ. Измѣненіе это — электрическое по природѣ — еще могло бы быть отнесено въ данномъ случаѣ къ электрической природѣ раздражителя; но вамъ извѣстны факты, гдѣ отрицательное колебаніе является въ нервѣ при возбужденіи его дѣятелями другаго рода, напр. у лягушекъ во время сильныхъ тетаническихъ конвульсій отъ стрихнина, при возбужденіи нерва рядомъ механическихъ ударовъ, наконецъ при произвольныхъ мышечныхъ сокращеніяхъ человѣка. Во всѣхъ этихъ случаяхъ рядомъ два явленія: усиленная физіологическая дѣятельность нерва и опредѣленное измѣненіе его электрическихъ свойствъ. Не естественно ли

думать послѣ этого, что актъ нервнаго возбужденія есть актъ по природѣ электрическій! Въ самомъ дѣлѣ, только такое предположеніе дѣлаетъ доступнымъ пониманію это роковое совпаденіе двухъ явленій. На такое предположеніе даетъ право еще и то обстоятельство, что на электрическихъ рыбахъ давнымъ-давно дознана связь между физіологическимъ возбужденіемъ нерва и электрическими движеніями въ ихъ специфическихъ органахъ. Дѣло другаго рода, если принять явленіе отрицательнаго колебанія тока за электродинамическое выраженіе акта нервнаго возбужденія; противъ этого найдется много возраженій, напр. присутствіе отрицательнаго колебанія тока въ нервахъ животныхъ, отравленныхъ кураре, одинаковость распространенія этого измѣненія по длинѣ движущаго нерва въ центробѣжномъ и центростремительномъ направленіи, и наконецъ ослабленіе этого измѣненія въ силѣ съ удаленіемъ отъ мѣста раздраженія [1]). Всѣ эти факты показываютъ только, что измѣненіемъ нерва, выражающимся въ отрицательномъ колебаніи тока, не исчерпывается еще сумма тѣхъ, которые лежатъ въ основѣ физіологической дѣятельности нерва. И конечно, всякій согласится, что факты эти нисколько не противорѣчатъ мысли объ электрической природѣ акта нервнаго возбужденія. Если же мысль эта такъ естественна, то конечно физіологическая дѣятельность нерва должна стоять въ связи съ его электрической организаціей.

Прошу не забывать однако, что развитая здѣсь мысль есть не болѣе какъ гипотеза, въ пользу которой говорятъ до сихъ поръ лишь отрывочные факты, и потому нечего удивляться, что въ настоящее время нельзя еще открыть, напримѣръ, связи между способностью нерва давать токи при сообщеніи различныхъ точекъ его поверхностей и свойствомъ того же органа представлять

---

[1]) Всѣ эти возраженія имѣютъ однако важность лишь относительную, потому что съ одной стороны недостаточность способовъ изслѣдованія дѣлаетъ невозможнымъ точное опредѣленіе электрическихъ измѣненій въ отравленныхъ нервахъ; съ другой—есть факты, указывающіе на способность движущаго нервнаго волокна проводить возбужденіе и въ центростремительномъ направленіи; наконецъ существуютъ наблюденія (Пфлюгера), изъ которыхъ выходитъ, что при слабомъ перерывистомъ раздраженіи нерва явленія отрицательнаго колебанія тока не подчиняются закону ослабленія силы съ удаленіемъ отъ мѣста раздраженія.

электрическія измѣненія далеко за предѣлами мѣста раздраженія, или связь между послѣднимъ свойствомъ нерва и его физіологической дѣятельностью. Припомните кромѣ того, что наше ученіе вступило въ истинно научный путь лишь въ очень недавнее время и средства его, при сложности и запутанности основныхъ вопросовъ, естественнымъ образомъ еще очень слабы. Всякій, слѣдящій за современнымъ развитіемъ этого отдѣла физіологіи, знаетъ наконецъ, что онъ двигается впередъ съ страшною быстротою: съ одной стороны, главнѣйшія методы изслѣдованія получаютъ болѣе и болѣе строгую научную форму [1]); съ другой, самый кругъ изслѣдованія расширяется все болѣе и болѣе: въ послѣднее время рядомъ съ ученіемъ объ электрическомъ раздраженіи нерва начинаетъ быстро развиваться изслѣдованіе этого органа подъ вліяніемъ другихъ дѣятелей. Можно сказать, что не проходитъ мѣсяца, который не принесъ бы съ собою новаго задатка для движенія впередъ. Неудивительно, что при этомъ условіи бываютъ времена, когда въ сознаніи многихъ мысль о связи между электрическимъ устройствомъ нерва и его физіологическою дѣятельностью то вдругъ пріобрѣтаетъ форму несомнѣнной истины, то какъ бы совершенно разрушается. Черезъ всю исторію развитія нашего ученія можно однако провести мысль, что всегда и вездѣ предположеніе этой связи оказывало благотворное вліяніе на движеніе вопроса впередъ. И это понятно: подобно тому, какъ напримѣръ изслѣдованіе анатомическаго устройства почки ведетъ къ объясненію многихъ сторонъ выдѣленія мочи, точно также изученіе свойствъ покоющагося нерва есть первая ступень къ пониманію его физіологической дѣятельности, точка опоры при изслѣдованіи функціи. А вѣдь между всѣми извѣстными свойствами покоющагося нерва одни электрическія, по своей тонкости и подвижности, отвѣчаютъ идеѣ тѣхъ тонкихъ, быстрыхъ процессовъ, которые совершаются въ этомъ органѣ во время его дѣятельности.

---

[1]) Напримѣръ на дняхъ въ полученной мною книжкѣ журнала Генле (*Zeitschr. f. ration. Medic.*, 3 Heft, 1861) описывается мультипликаторъ съ одинокою магнитною иглою, въ которомъ дѣйствіе земнаго магнетизма уравновѣшивается отдѣльно помѣщеннымъ магнитомъ. Этотъ инструментъ даетъ возможность сравнивать между собою силу отведенныхъ отъ животныхъ частей токовъ.

Относительно закона возбужденія мышечной ткани электрическимъ токомъ мнѣ остается сказать теперь немного. Вы знаете, что до сихъ поръ между мышечнымъ и нервнымъ волокномъ со стороны электрическихъ явленій во время ихъ покоя и дѣятельности оказалась лишь одна разница, именно мышца не показываетъ электротоническихъ измѣненій внѣ полюсовъ поляризующаго тока. Сообразно этому, новѣйшія изслѣдованія Бецольда показали, что сфера катэлектротоническихъ и анэлектротоническихъ измѣненій въ смыслѣ Пфлюгера (т. е. сфера усиленной и угнетенной раздражительности) ограничивается для мышечной ткани межполюснымъ пространствомъ. И здѣсь явленія совершенно тождественны съ тѣми, которыя замѣчаются на нервѣ, т. е. при слабыхъ поляризующихъ токахъ катэлектротоническое измѣненіе имѣетъ перевѣсъ надъ противоположнымъ, съ усиленіемъ же тока происходитъ противное. Форма опытовъ здѣсь совершенно та же, какъ и при соотвѣтствующихъ явленіяхъ на нервѣ, съ тою конечно разницею, что въ настоящемъ случаѣ электроды поляризующаго и раздражающаго токовъ непосредственно прикладываются къ мышцѣ, которая должна быть отравлена кураре для парализованія въ ней нервовъ. Фокусомъ возбужденія и для мышечной ткани оказывается то отрицательный полюсъ, то положительный, смотря по тому, раздражается ли мышца замыканіемъ или размыканіемъ тока. И здѣсь опыты по формѣ совершенно тѣ же, что для нерва, т. е. измѣряютъ время отъ начала замыканія или размыканія восходящихъ и нисходящихъ токовъ, приложенныхъ къ верхнему концу связанной съ міографомъ мышцы, до наступленія мышечнаго сокращенія. Для того, чтобы на поднятіе рамы міографа вліяло только укорочиваніе той части мышцы, которая лежитъ ниже (мышца виситъ вертикально) мѣста приложенія электродовъ (относительно этой части органа токи и называются восходящими и нисходящими), точка опоры раздражаемаго органа помѣщается въ мѣстѣ приложенія тока. Здѣсь мышца ущемляется и укрѣпляется неподвижно въ пространствѣ. Сверхъ того, на мышцахъ усталыхъ, охлажденныхъ, гдѣ быстрота и сила сокращенія значительно ослаблена, можно видѣть простымъ глазомъ, что при замыканіи тока фокусомъ мышечнаго сокращенія бываютъ точки, подлежащія отрицательному полюсу, и отсюда процессъ укорачиванія волоконъ распространяется какъ въ на-

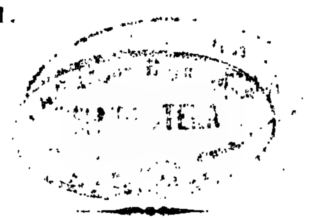
правленіи къ положительному полюсу, такъ и въ противоположную сторону. Опыты Вундта показали наконецъ, что во все время дѣйствія постояннаго тока на мышечную ткань она представляетъ въ межполюсномъ пространствѣ постоянное сокращеніе, которое бываетъ сильно только въ началѣ, а съ продолженіемъ дѣйствія значительно ослабѣваетъ. Изъ всего сказаннаго ясно слѣдуетъ, что законъ возбужденія мышечной ткани электрическимъ токомъ въ сущности тотъ же, какъ и въ нервѣ. Разница конечно въ томъ, что въ мышцѣ возбужденіе выражается видимымъ перемѣщеніемъ частичекъ, чего нѣтъ въ нервѣ. Понятною становится при этомъ и разница между непосредственнымъ возбужденіемъ мышцы электрическимъ токомъ и возбужденіемъ ея чрезъ нервъ: въ первомъ случаѣ фокусомъ сокращенія служатъ точки мышцы, подлежащія которому нибудь изъ полюсовъ, во второмъ фокусы эти разсѣяны во всѣхъ мѣстахъ, гдѣ возбужденные нервные элементы органически связаны съ мышечными. Нужно ли говорить, что актъ мышечнаго возбужденія можно назвать съ такимъ же правомъ электрическимъ, какъ и процессъ нервнаго возбужденія? Вы знаете, что и въ мышцѣ дѣятельное состояніе выражается такимъ же измѣненіемъ электрическихъ свойствъ, какъ и въ нервѣ. Правда, это измѣненіе не соотвѣтствуетъ по времени процессу укорачиванія мышечныхъ волоконъ, но тѣмъ не менѣе оно бываетъ всегда его роковымъ предвѣстникомъ. Такого совпаденія конечно достаточно, чтобы допустить и здѣсь электрическую натуру акта возбужденія.

Задача моя кончена. Я познакомилъ васъ съ завѣтными стремленіями электрофизіологіи, показалъ самымъ развитіемъ этого ученія, что такія стремленія законны, не смотря на то, что сумма добытыхъ до сихъ поръ фактовъ представляетъ лишь намеки на будущее рѣшеніе вопросовъ о сущности нервнаго и мышечнаго возбужденія. Въ заключеніе я считаю долгомъ указать въ общихъ чертахъ на тѣ пути, которыми должна идти дальнѣйшая разработка этихъ вопросовъ. Электродинамическія явленія нерва и мышцы должны быть приняты въ основу изслѣдованія, должны служить, такъ сказать, точкой опоры при изученіи физіологической функціи. Поэтому первымъ дѣломъ должно быть стараніе придать методѣ электрическаго изслѣдованія животныхъ частей рядомъ съ тонкостью измѣрительный характеръ. Задатки для этого

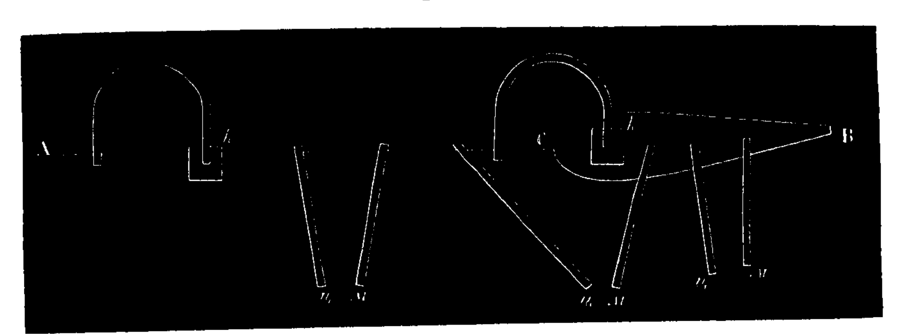
уже существуютъ. Для опредѣленія смысла электрическихъ явленій необходимо изучать ихъ подъ вліяніемъ различныхъ органическихъ условій, притомъ не ограничиваться одними нервами и мышцами, а ввести въ кругъ изслѣдованія и другія животныя ткани, представляющія электрическія явленія. Въ этомъ направленіи начались уже изслѣдованія надъ токами кожи. Рядомъ съ этимъ должно идти изученіе формы и химическихъ свойствъ. И въ томъ и другомъ отношеніи сдѣлано еще крайне мало и, къ сожалѣнію, мало еще предвидится средствъ для быстраго развитія этихъ ученій. Объ руку съ изслѣдованіемъ нерва и мышцы подъ вліяніемъ электрическаго тока должно идти наконецъ изученіе вліянія на тѣ же органы химическихъ и механическихъ дѣятелей. Измѣненія органовъ подъ вліяніемъ перваго условія, какъ болѣе разработанныя, должны служить здѣсь, такъ сказать, образцомъ, съ которымъ слѣдуетъ сравнивать тѣ, которыя получены иными способами раздраженія. И такого рода изслѣдованія уже начались.

Такимъ образомъ вы видите, что есть много задатковъ для быстраго движенія нашего ученія впередъ, слѣдовательно и много надеждъ на богатые плоды. А кто близко знакомъ съ судьбами физіологическихъ вопросовъ вообще, тотъ знаетъ по опыту, что для очень многихъ изъ нихъ уже одна осязательная надежда на возможность будущаго рѣшенія составляетъ часто большой шагъ впередъ. Этотъ шагъ и сдѣлала электрофизіологія относительно вопросовъ о сущности мышечной и нервной дѣятельности въ послѣднія 25 лѣтъ.

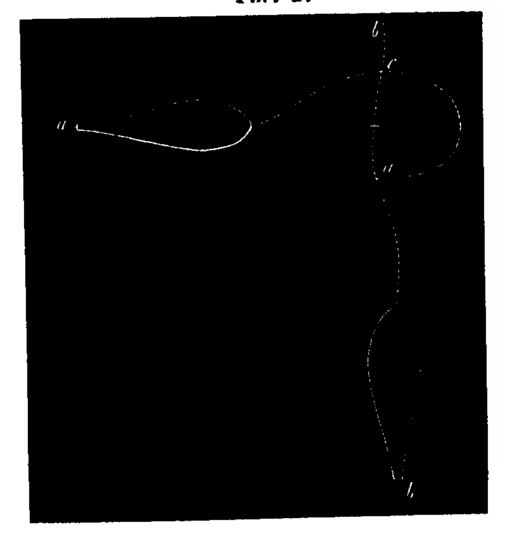
21-го октября 1861.
С.-Петербургъ.



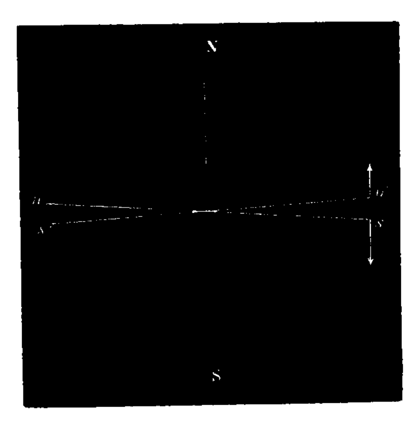
Фиг. 1.



Фиг. 2.



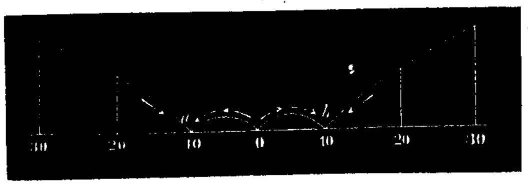
Фиг. 3.



Фиг. 4.



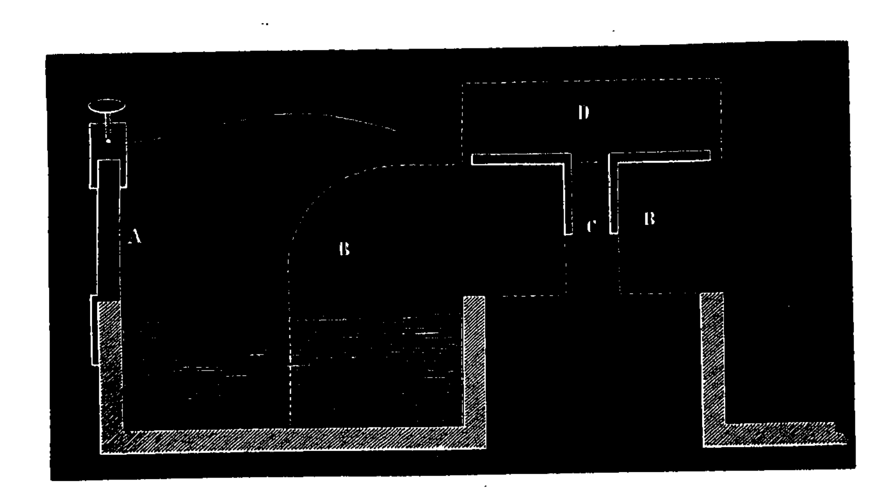
Фиг. 5.



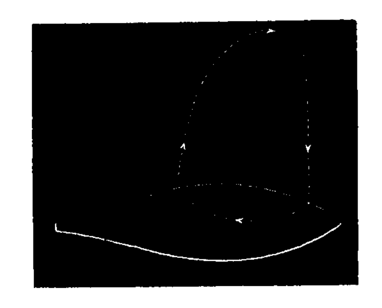
Фиг. 6.



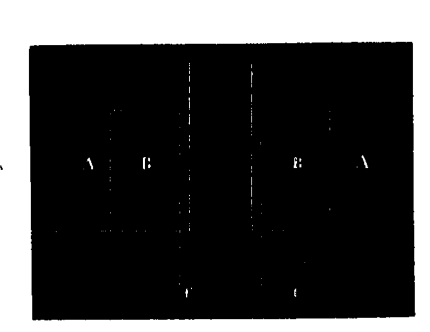
Фиг. 7.



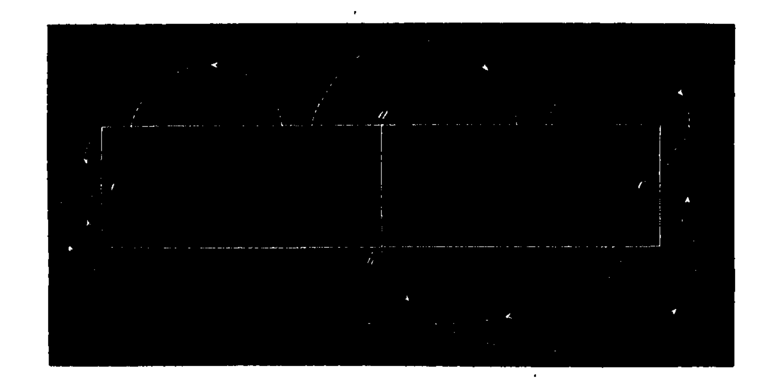
Фиг. 8.



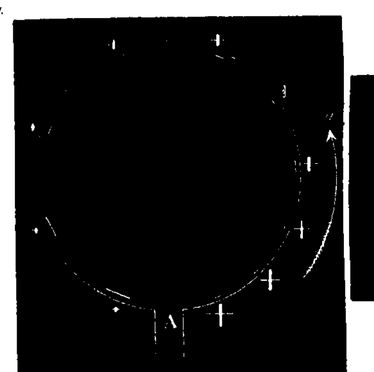
Фиг. 9.



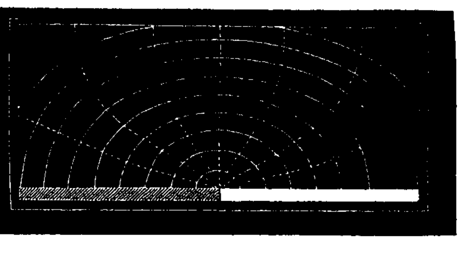
Фиг. 10.



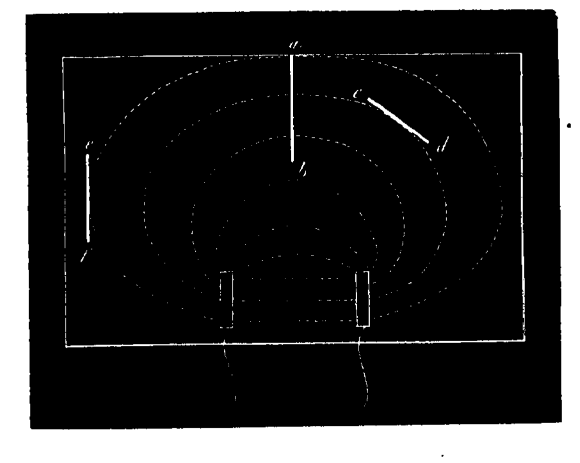
Фиг. 11.



Фиг. 12.



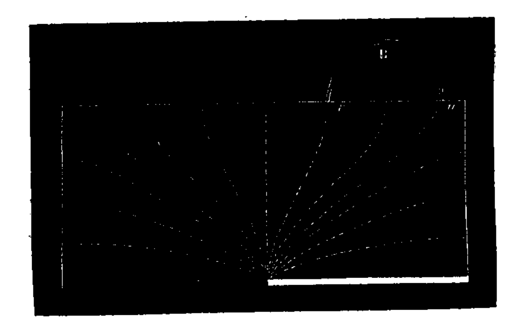
Фиг. 13.



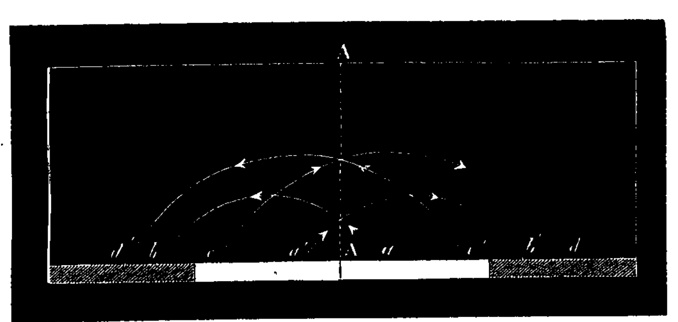


Фиг. 15.

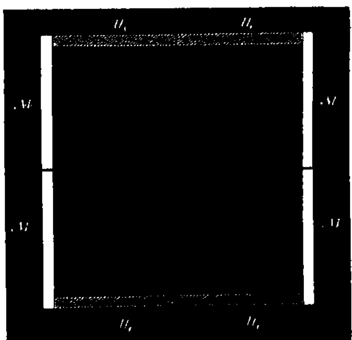
Фиг. 14.



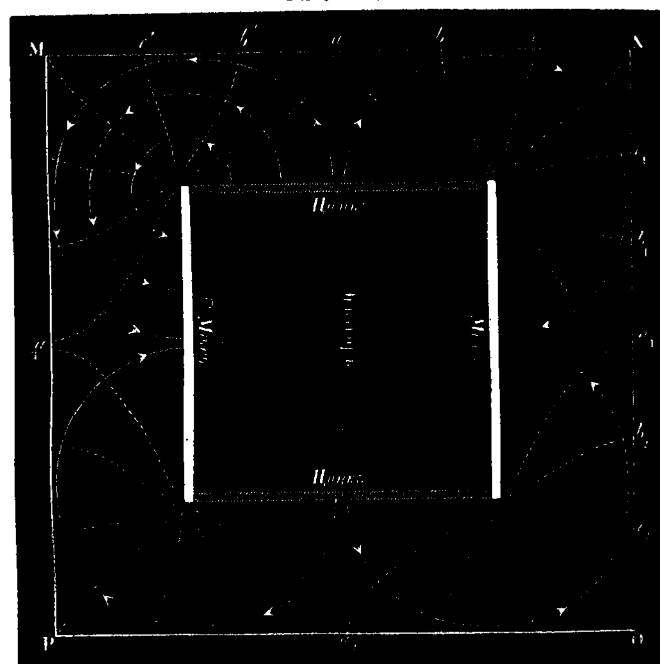
Фиг. 16.



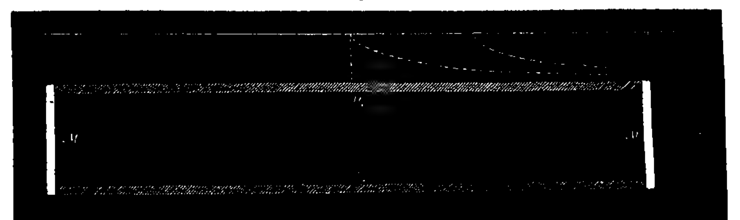
Фиг. 17.



Фиг. 18.

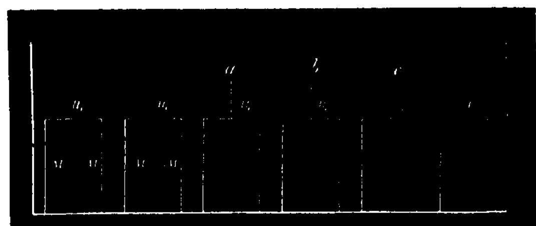


Фиг. 19.

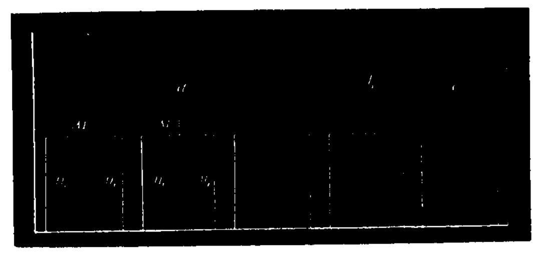




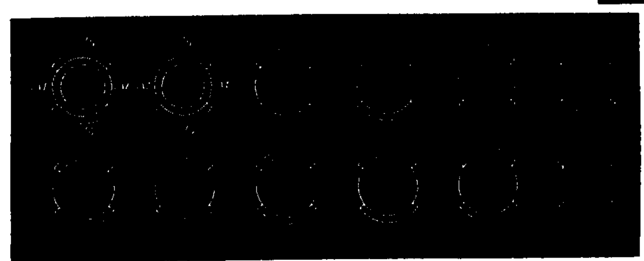
Фиг. 20.



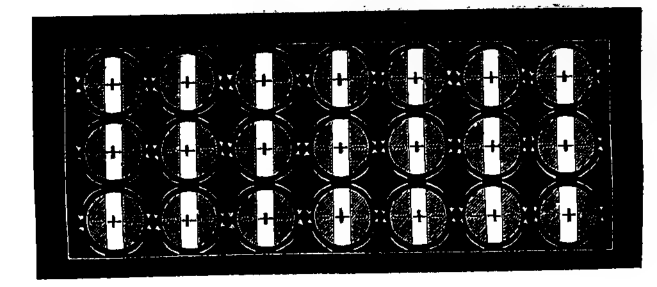
Фиг. 21.

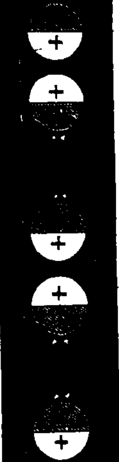


Фиг 22.



Фиг. 23.





Фиг. 24.

Фиг. 25.

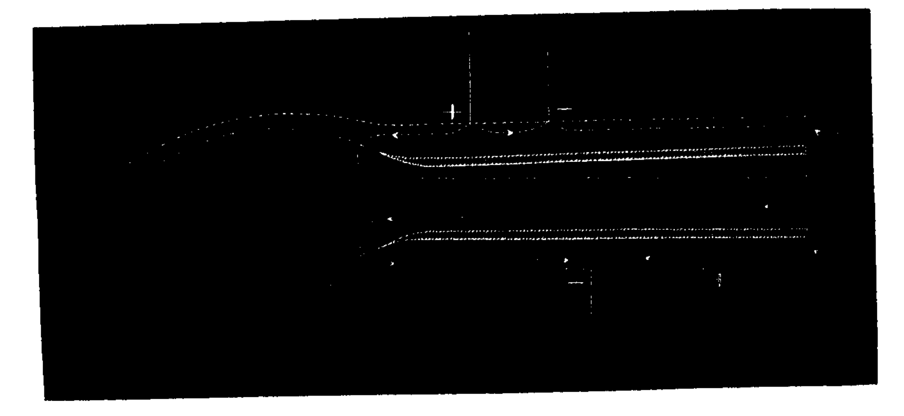
Фиг. 26.

Фиг. 27

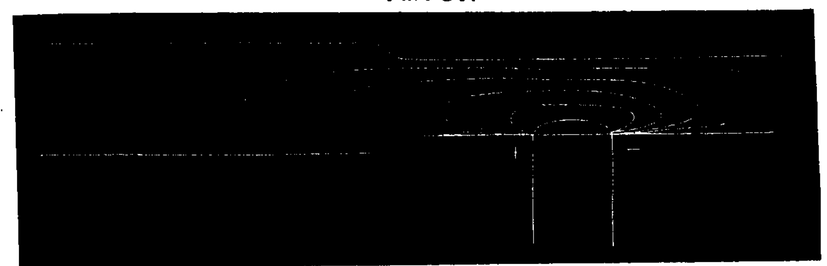
Фиг. 28.

Фиг. 29.

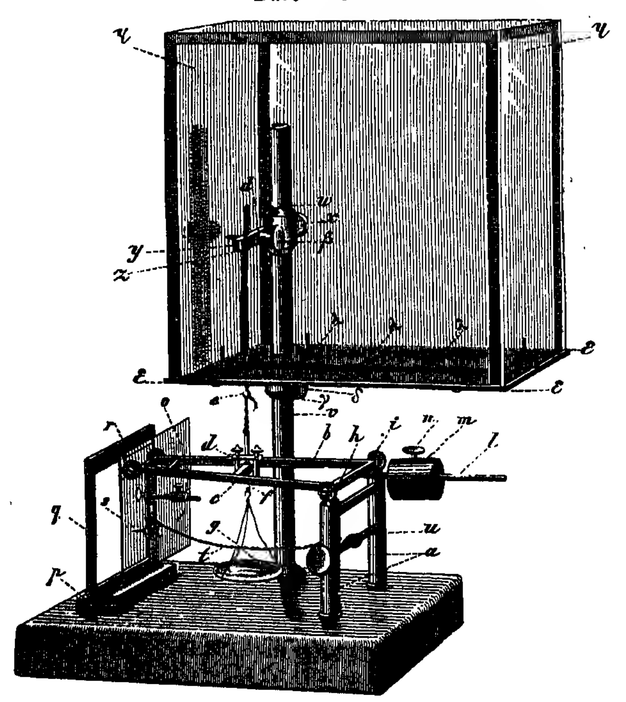
Фиг. 30.



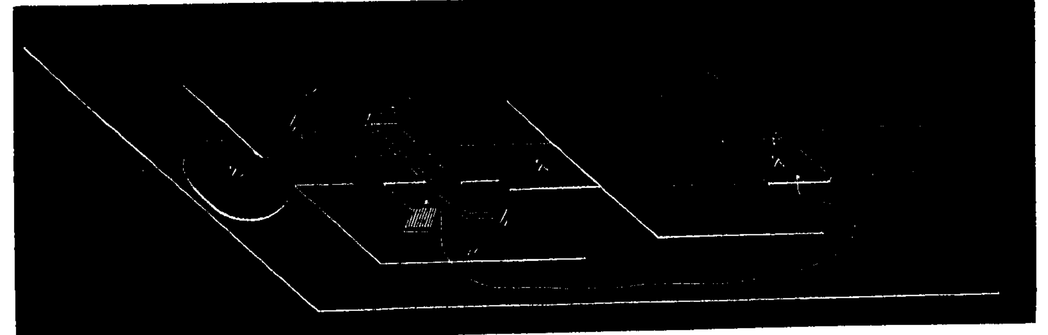
Фиг. 31.



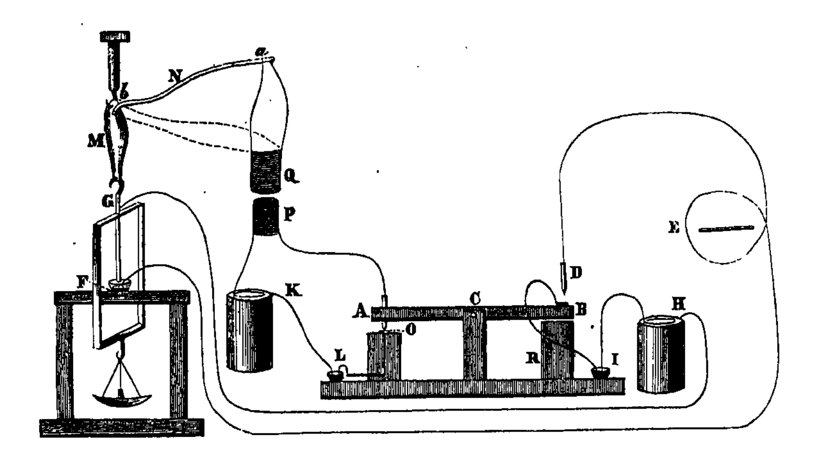
Фиг. 32.

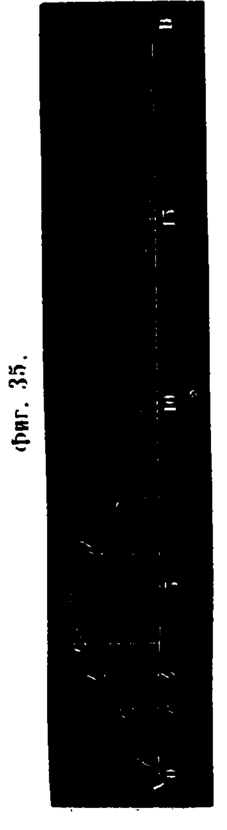


Фиг. 33.



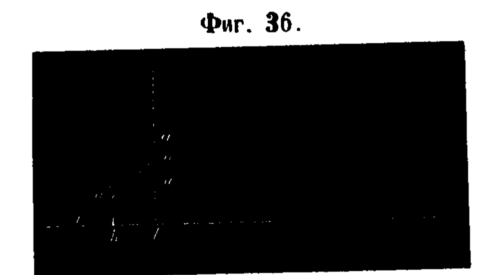
Фиг. 34.



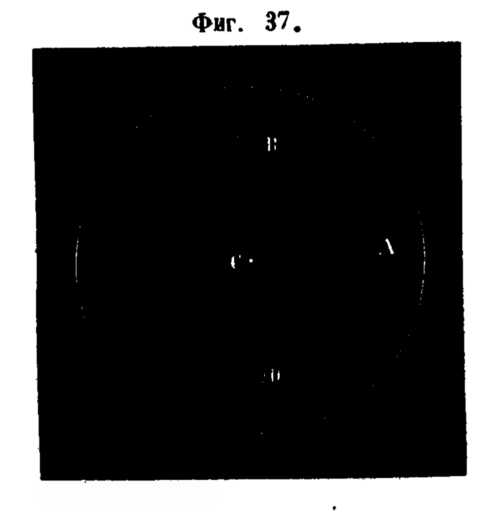


Фиг. 35.

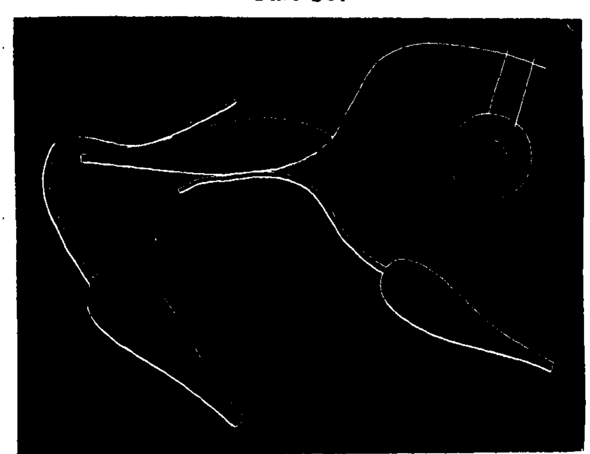
Фиг. 36.



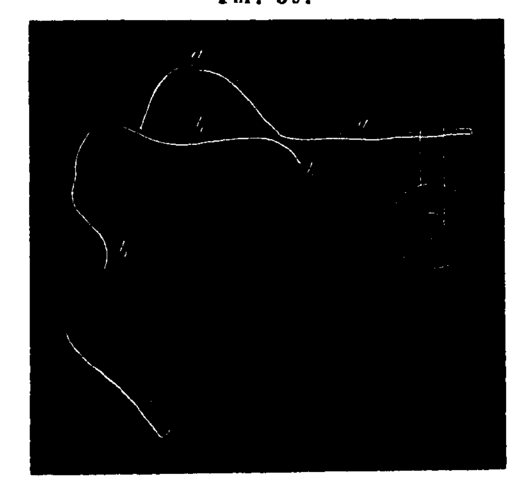
Фиг. 37.



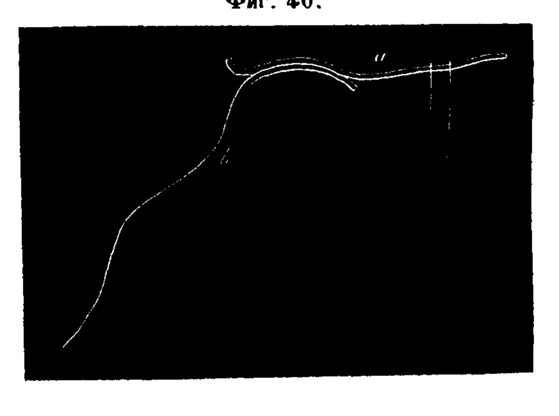
Фиг. 38.



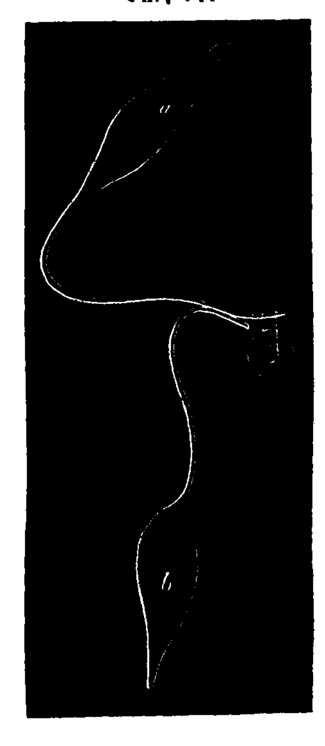
Фиг. 39.



Фиг. 40.



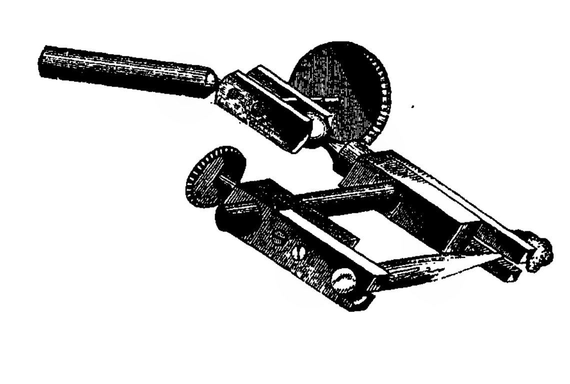
Фиг. 41.



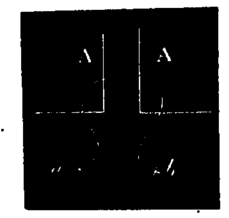
Фиг. 42.



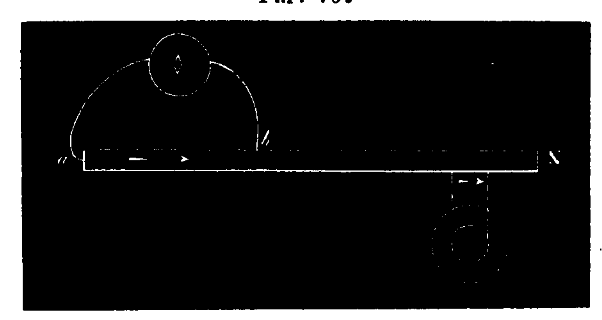
Фиг. 43



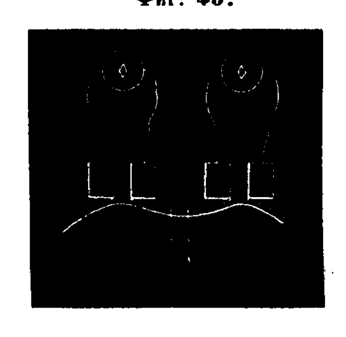
Фиг. 44.



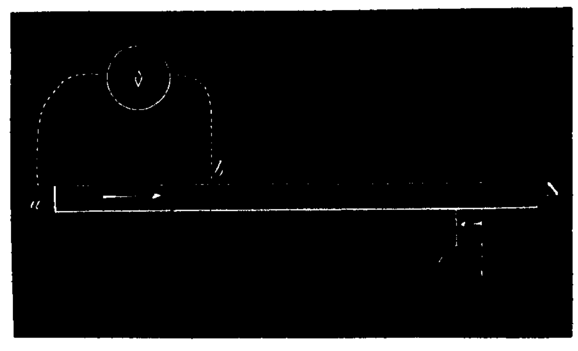
Фиг. 46.



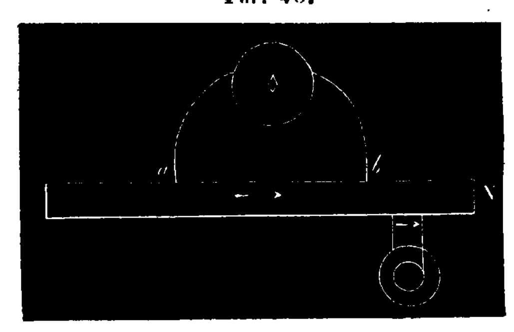
Фиг. 45.



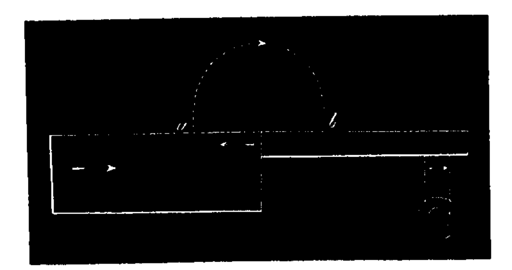
Фиг. 47.



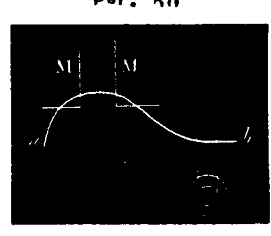
Фиг. 48.



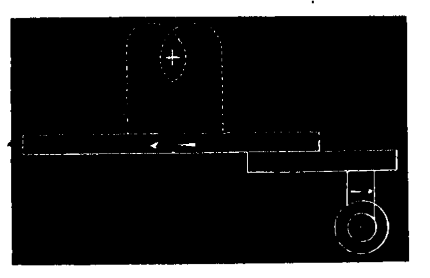
Фиг. 49.



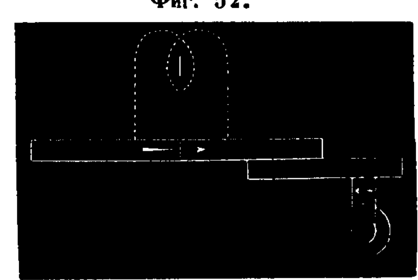
Фиг. 50.



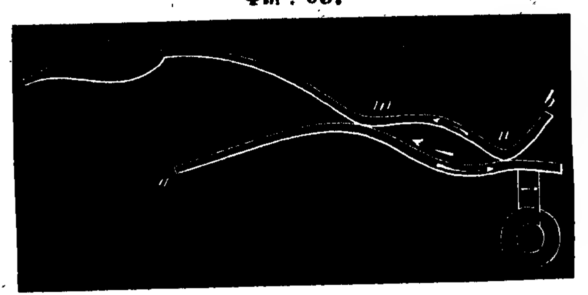
Фиг. 51.



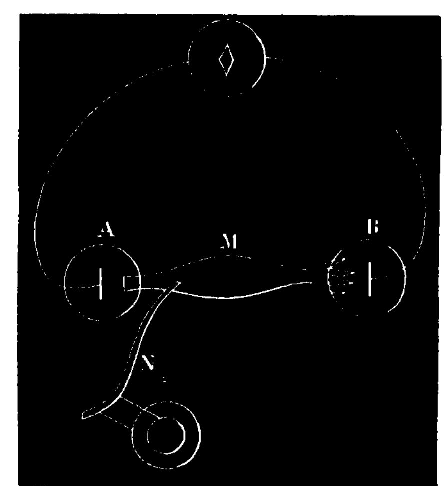
Фиг. 52.



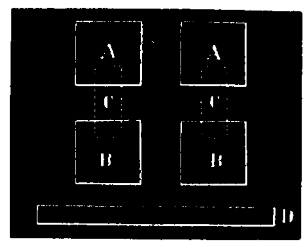
Фиг. 53.



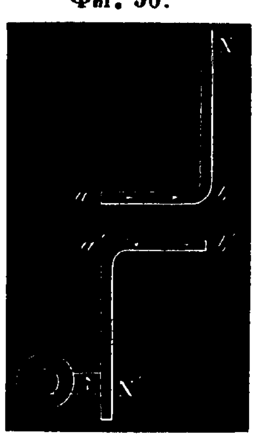
Фиг. 54.



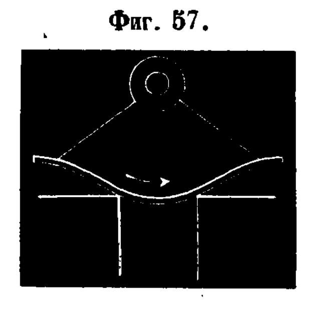
Фиг. 55.



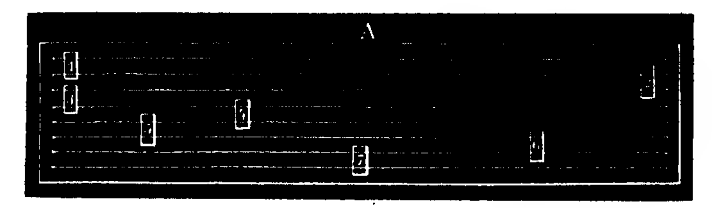
Фиг. 56.



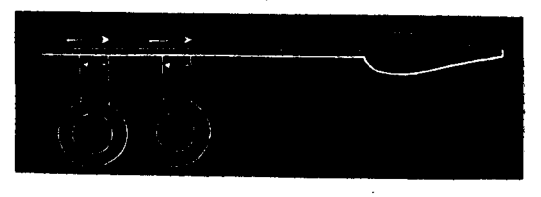
Фиг. 57.



Фиг. 59.

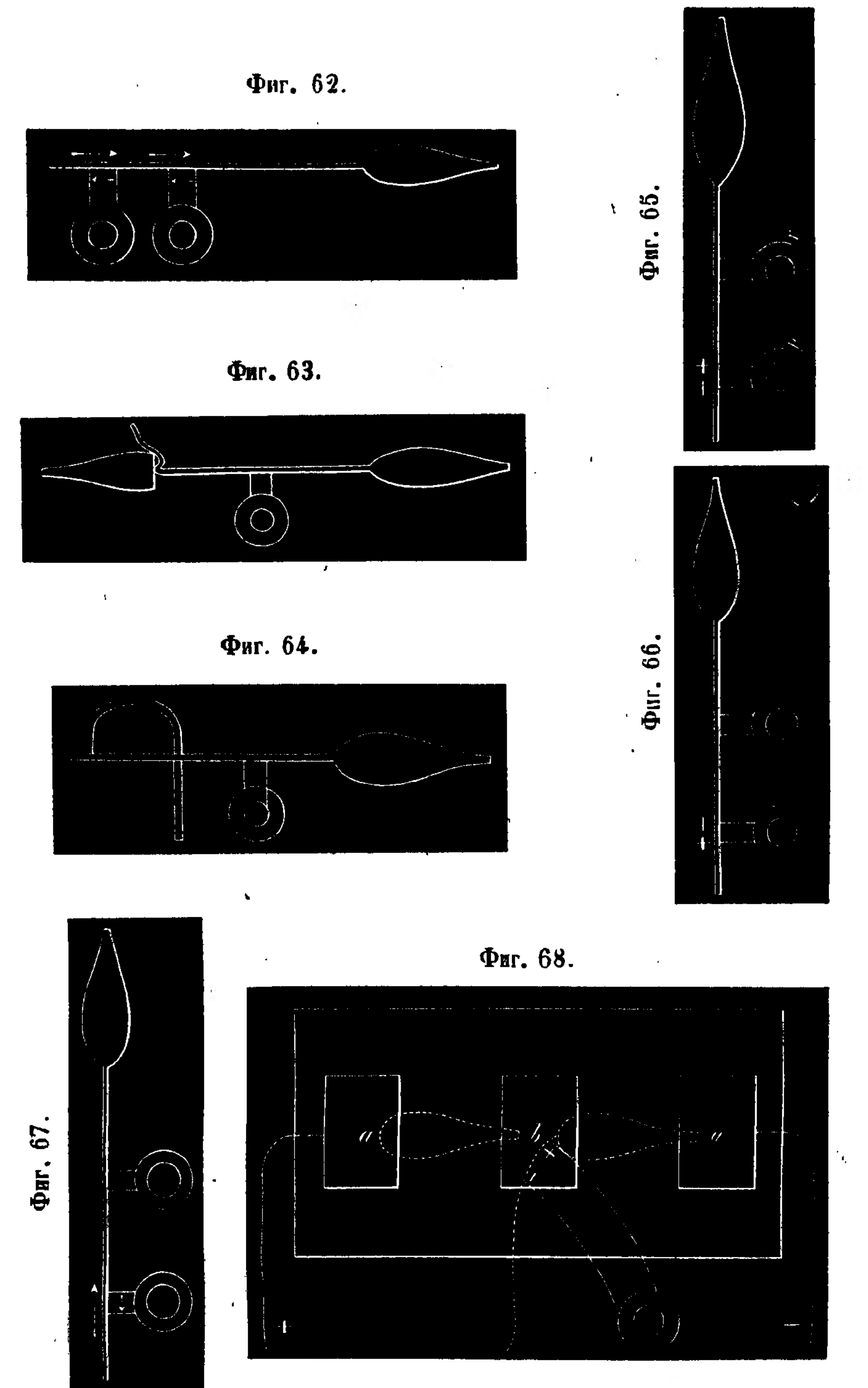


Фиг. 61.

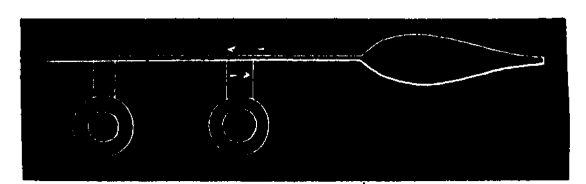


Фиг. 58.

Фиг. 60.


Фиг. 62.
Фиг. 63.
Фиг. 64.
Фиг. 65.
Фиг. 66.
Фиг. 67.
Фиг. 68.

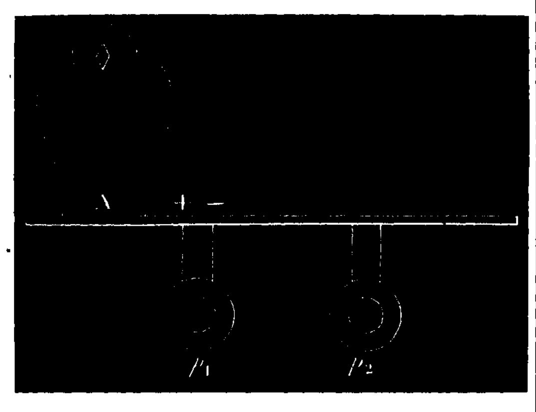
Фиг. 69.



Фиг. 70.

Фиг. 71.

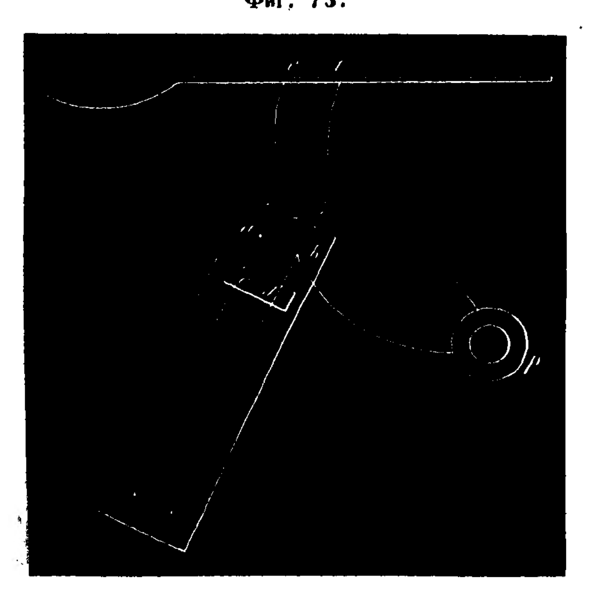
Фиг. 72.



Фиг 74.



Фиг. 73.





Фиг. 75.